

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-010036

(43)Date of publication of application : 16.01.1998

(51)Int.Cl.

G01N 15/14
G01N 21/21
G01N 21/49
H01L 21/66

(21)Application number : 08-301361

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 25.10.1996

(72)Inventor : UESUGI FUMIHIKO
ITO NATSUKO

(30)Priority

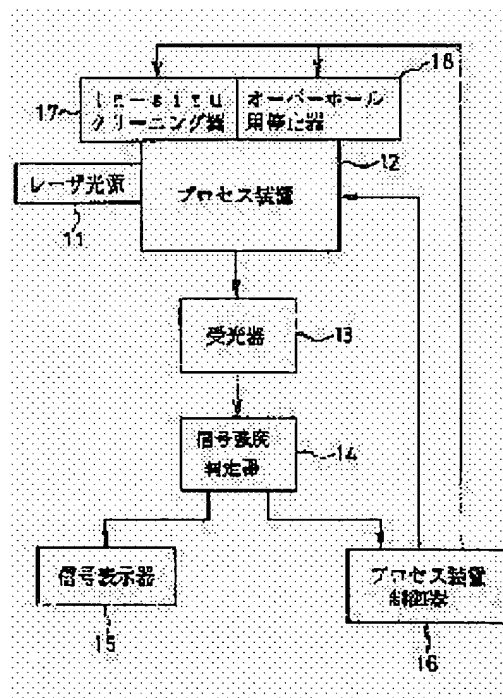
Priority number : 08130957 Priority date : 26.04.1996 Priority country : JP

(54) PARTICLE MONITOR DEVICE AND DUST ELIMINATING PROCESS DEVICE HAVING THE MONITOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To previously prevent the occurrence of particle induction failure by measuring a particle existing in a wafer upper space in in situ real time.

SOLUTION: The Rayleigh scattered light and the Raman scattered lig by a particle floating in a process device 12 are converted into an electric signal by a photodetector 13, and is transmitted to a signal intensity judging unit 14. Scattered light intensity on the basis of a correlation between a particle generating condition and a wafer yield is preset in this judging unit. Its condition is transmitted to a signal display unit 15 or a process controller 16 according to the magnitude relationship between obtained scattered light intensity and a preset value, and the controller 16 transmits a signal corresponding to a result in the judging unit 14 to an in-situ cleaning unit 17 or a stopper 18 for an overhaul, and these actuation is made to stand by or is



actually performed.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] Especially this invention acts as the monitor of the particle which exists between wafer absentminded, or its precursor with the Inn stew (inch-situ) about a particle monitoring device, and relates to the equipment which foreknows the defect who arises when a particle's in process unit existence condition is grasped on real time and particle adheres to a wafer. Moreover, this invention relates to the equipment which removes particle from between wafer absentminded based on particle's existence information.

[0002]

[Description of the Prior Art] It is known well that there is a defect of a particle reason as one of the factors which affects the yield in the mass production phase of LSI most. For this reason, in the semiconductor manufacturing process, whenever some processes of mass production are completed, particle is inspected. As inspection of particle, the method of detecting by taking out difference from the comparison of the image of the chip which adjoins what irradiates a surface laser beam and detects particle from the scattered light is used conventionally.

[0003] However, surface irregularity comes to become larger than the size of particle, and, for this reason, it is difficult [it] to detect particle as LSI makes it detailed by these conventional methods.

[0004] Then, how to measure the particle in equipment is considered instead of inspecting after process termination.

[0005] As conventional technology of the method of measuring the particle of equipment by laser light scattering, to JP,3-39635,A It aims at offering equipment detectable with a sufficient precision, even if it is the particle [as / whose particle diameter is 0.07 micrometers or less]. The light source which generates a light beam, and the flow cell by which the measured fluid prepared on the optical axis of a light beam is poured, Two electric eyes in all which it prepared one piece at a time in the location which counters this flow cell and is applicable about the above-mentioned optical axis, respectively, It has the detecting element connected and prepared in these two electric eyes. And the above-mentioned detecting element Two discrimination decision circuits in all which take out only the output signal exceeding the threshold beforehand set up among the output signals of each [these] electric eye which connected to the two above-mentioned electric eyes, respectively, and were formed in them, The particle measuring device equipped with the judgment circuit which chooses and outputs only the output signal which has synchronia among the output signals of these [which were connected and prepared in these two discrimination decision circuits] two discrimination decision circuits, and the counter circuit which carries out counting of the output signal of this judgment circuit is proposed.

[0006] As conventional technology which changes and displays the scattered light on an electrical signal, the publication of JP,4-352077,A and JP,3-39721,U is referred to, for example. Moreover, the publication of the paper (journal OBU vacuum Science and technology magazine, the Bth nine volumes, 1991, the 3487-3492nd page) (it is called "reference 1") by the cel bottle (Gary S. Selwyn) is referred to. Furthermore, the publication of the paper (applied physics Letters (Applied Physics Letters), the 61st volume, 1992, 1510th page - 1512 pages) (it is called "reference 2") by Watanabe and others is also referred to.

[0007] Moreover, there is the method of measuring the change to it of the incidence laser beam of the polarization condition of the light scattered about by particle using the laser beam of a desired polarization condition. It introduces into a process unit, after letting a polarizer pass and making the laser beam from a laser oscillator into the linearly polarized light of 45 degrees of azimuths over the level surface. The scattered light by particle reaches a photodetector after passing a revolution analyzer. If it measures about two kinds, the case where it lets the quarter-wave length board which equipped with the signal strength from a photodetector in front of the photodetector pass, and when a quarter-wave length board is not used, the signal which required the modulation with the rotational frequency of a

revolution analyzer and which is changed in time will be acquired. If the Fourier transform of this is carried out, the presentation of particle, number density, and the Stokes parameter required to decide distribution can be found.

[0008] the example of this method -- for example, woods -- Japanese Journal OBUA pride the Lth [of FIJKUSU (Jpn.J.Appl.Phys.)] of the 33rd volume (1994) -- the paper (it is called "reference 3") announced by L478 page from 476 pages is referred to.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] Among the above-mentioned conventional technology, although technology given in above-mentioned JP,3-39635,A is related with the equipment which measures the particle in the fluids in a liquid or a gas etc. using laser light scattering, since it is what measures by introducing a measured fluid into a flow cell, it has the problem of being hard to take correlation with the particle on a wafer.

[0010] Moreover, although there are some which were indicated by above-mentioned JP,4-352077,A as conventional technology of changing the scattered light into a picture signal and processing it However, since it is not what recognizes fume and raising dust from difference with this conventional technology as compared with a thing in case there are no they about an image in case fume or raising dust occurs, and measures the concentration and particle size of smoke or dust, and its distribution, It is difficult to make it difficult to go back to the device of fume or raising dust, and to direct a prompt solution to a source of release.

[0011] Furthermore, the conventional technology given in JP,3-39721,U condenses scattered-light reinforcement to a certain specific photo detector, displays the magnitude of particle by LED (semiconductor light emitting device) by which plurality was arranged, and outputs the concentration of particle to a printer. However, it is difficult to specify the source of release of the particle which participates in specification of the particle source of release within a process unit, or the yield of a wafer directly by this conventional method.

[0012] Moreover, the method of measuring the particle between wafer surface absentminded [in a process unit] by light scattering, measuring the scattered light with a CCD (charge storage element) camera, and obtaining an image is indicated by the above-mentioned reference 1 (journal OBU vacuum Science and technology magazine, the Bth nine volumes, 1991, 3487th page - 3492 pages) for example, by the cel bottle (Gary S.Selwyn). Moreover, the like is indicated by Watanabe and others at the above-mentioned reference 2 (applied physics Letters (Applied Physics Letters), the 61st volume, 1992, 1510th page - 1512 pages).

[0013] The two-dimensional image of the scattered light reported to each of these reference is regarded as an image with same scattered light from particle with a very small magnitude of about several 10nm and scattered light from the big particle about mum from sub mum. However, by this image, the whole particle is only observed like one cloud which is shining. And once it takes the obtained image on a tape, the spatial distribution of particle size is calculated according to brightness (after memorizing).

[0014] For this reason, distribution of the particle which exists between absentminded rather than a wafer front face cannot be measured on real time, but there is a problem that the condition which changes the yield of a wafer and equipment every moment cannot be pursued. Therefore, in the processing after acquisition of such an image, in order to prevent wafer loss, a mass production process engineer has the problem of being hard to judge the action which should be taken.

[0015] Moreover, although the scattered light from one point of the space in a desired process is measured in order to measure the particle size and density of particle, by this method, time amount change of a motion of the whole particle or distribution is not known. That is, also in this case, in order to prevent wafer loss, there is a problem of being hard to judge the action which a mass production process engineer should take.

[0016] Furthermore, in the polarization analysis of the scattered light using a revolution analyzer method which is indicated by the above-mentioned reference 3, about the time of inserting a quarter-wave length board, and each case when removing, unless it measures, it cannot ask for all the Stokes parameters required to presume the particle size of particle, number density, and a refractive index.

[0017] Now, in the manufacturing process of LSI, the single-wafer-processing process unit has become in use, and process time amount per wafer is made into about 120 seconds from 60 seconds. Therefore, it is necessary to act as the monitor of the generating condition of particle every moment within this time amount, and to provide a process engineer with that result on real time.

[0018] however -- a revolution analyzer method -- the process time amount to a wafer -- at most -- it is difficult for the object which sometimes pursues change of **** within 120 seconds to apply this method. That is, since growth of particle advances while carrying out two measurement of the existence of a quarter-wave length board, there is a trouble that the Stokes parameter which can be found from the obtained result cannot reflect process environment in specific time of day.

[0019] Therefore, this invention is made in view of the trouble of the above-mentioned conventional technology, and the object measures the particle which exists in wafer up space on in-situ and real time, and is to offer the equipment which prevents generating of poor particle induction in advance.

[0020]

[Means for Solving the Problem] In order to attain said object, a particle monitoring device of this invention The light source, a process unit, and a means to introduce light from said light source into said process unit, A light-receiving means to measure the scattered light out of said process unit, or luminescence, A signal strength judging means to judge size for signal strength from said light-receiving means as compared with a predetermined value, a means on which reinforcement of the scattered light out of said process unit and luminescence or its intensity distribution is displayed -- and/or, it is characterized by including a means on which distribution of magnitude of matter which causes said scattered light and luminescence, a number, etc. is displayed.

[0021] Moreover, this invention is a monitoring device [particle / which is generated within a process unit used by production process of LSI] using laser light scattering measurement, and is set to equipment which measures change of a polarization condition of the scattered light using an analyzer and a wavelength plate. A particle monitoring apparatus characterized by providing a device in which a wavelength plate is rotated for the Stokes parameter required to presume a refractive index of particle, particle size and its distribution, and number density in order [of a process unit] to sometimes ask according to change of **** is offered.

[0022] Furthermore, pulse laser light is used for this invention, it carries out counting of the pulse number of a laser beam, and is characterized by rotating a wavelength plate for every desired pulse number.

[0023] Moreover, this invention offers a non-dust-ized process unit characterized by providing at least one of a means to control **** of said process unit which operates based on a comparison result signal from a signal strength judging means [a predetermined value / signal strength / from said electric eye], the Inn stew (inch-situ) cleaning means with which said process unit was equipped, or the means to direct an overhaul procedure of said process unit in the above-mentioned particle monitoring device.

[0024]

[Embodiment of the Invention] The gestalt and example of desirable operation of this invention are explained below.

[0025] A principle and an operation of this invention are explained below first. For the predicted maintenance of the defect by process induction particle, it is required to detect particle with a magnitude of several nm to several 10nm. If the wavelength which does not affect the reaction in a process is given, it is usually necessary to use the light of a visible region.

[0026] In this case, the target particle is smaller than wavelength with a digit, and Rayleigh scattering may consider that light scattering mainly becomes. Usually, if the Rayleigh-scattering light reinforcement I of the light of the wavelength λ by the particle of a radius a , complex index of refraction m , and number density N sets incident light reinforcement to I_0 and the angle which makes scatterer, the direction which goes the distance during point of measurement to point of measurement from r and scatterer, and the travelling direction of a laser beam is set to θ , what is expressed with a degree type (1) is known.

[0027]

$$I = A \cdot (2\pi/\lambda)^4 \cdot f(m) \cdot a^6 \cdot N \cdot I_0 \quad \dots (1)$$

However, $A = (1 + \cos 2\theta) / 2r^2 f(m) = |(m^2 - 1) / (m^2 + 2)|^2$ [0028] In the scattered light, when conversion efficiency to the electrical signal of an electric eye is set to η by the electric eye at the time of a carrier beam, the signal strength S from a photogenic organ is expressed with a degree type (2).

[0029] $S = \eta I$ -- (2)

[0030] As shown in drawing 3, the case where the scattered light from the particle in a process unit 12 is observed from a right angle to an incidence laser beam is considered. Drawing 4 and a number density dependency seem for the particle diameter dependency of the signal strength from a photo detector to show [by the electric eye 13 which consists of a photo detector of a CCD element array] the scattered light from particle to drawing 5, respectively at the time of a carrier beam. It seems that moreover, the diameter of particle and the relation of number density detectable from these results are shown in drawing 6.

[0031] On the other hand, although it leads to defect generating in order to foreknow the poor particle induction on the front face of a wafer in advance and to prevent it, the Inn stew (in-situ) needs to detect in a process the minute particle of the magnitude and number density which do not produce a defect, and it is necessary to act as the monitor of the process in which these grow, on real time at the event.

[0032] Furthermore, in the process which acts to the magnitude of this minute particle as the monitor of the time amount change of number density, if predetermined magnitude or predetermined number density is exceeded, a process engineer is told about that, or **** of a process unit is controlled automatically, control particle generating, in-situ cleaning is carried out, or the overhaul procedure of equipment is directed.

[0033] Magnitude of particle which becomes the criteria which make such a judgment in process of a monitor is set to a_i of drawing 4, and number density is set to n_i of drawing 5. Moreover, the straight line 11 it is decided from this a_i and n_i that will be drawing 6 is shown.

[0034] In a_i , n_i , and a pan, li changes also with the class of process, a material, and degrees of integration of LSI which changes with equipment used further and is manufactured. Moreover, when decision judges a multistage story like in the alarm of not only one kind of continuation and interruption of a process but minute particle generating, the alarm of the possibility of defect generating, directions of cleaning, directions of an overhaul procedure, etc., it is necessary to specify a_i , n_i , and li used as each decision criterion.

[0035] In this invention, although the incidence laser beam for generating the scattered light may be continuation light or you may be pulsed light, when measuring the scattered light using pulsed light, there is further advantage. In observation of a backscattering or forward scattering, the information on the magnitude of particle is acquired from the reinforcement according to the formula of the scattered-light reinforcement mentioned above.

[0036] Moreover, the information about the number of particle which exists is acquired from the number of the pulses of the scattered light observed on the basis of the incidence time amount of one certain incidence pulsed light. That is, the magnitude and the number of particle can be separated and measured.

[0037] Drawing 1 is the block diagram showing the configuration of the gestalt of operation of this invention, and is the block diagram showing even a series of actuation from the monitor of particle.

[0038] If drawing 1 is referred to, in the gestalt of operation of this invention, the pulsed light or continuation light from a laser light source 11 which consists of a laser oscillator and a device which scans a laser beam spatially will be introduced into a process unit 12, and the scattered light will arise by the particle which is floating to this interior. Like Rayleigh scattering, this scattered light may be the scattered light of the same wavelength as incident light, and may be the thing of different wavelength from incident light like Raman scattering. Although the main dispersion gestalten are Rayleigh

scattering, it is also expectable that Raman scattering arises depending on the target material. Moreover, not only dispersion such but observation of luminescence with a material is expectable.

[0039] The scattered light is changed into an electrical signal by the electric eye 13. Although it is desirable that it is proportional to scattered-light reinforcement at linearity, the conversion to this electrical signal may be nonlinear as long as scattered-light reinforcement and an electrical signal correspond to 1 to 1.

[0040] As this electric eye 13, if CCD, a photo multiplier, multi-channel pliers, etc. are equipments including photo electric translation, they are good anything. Moreover, you may equip with a spectroscopy before this electric eye 13. In observation of Raman scattering or luminescence, it is effective in separation from an incidence laser beam or the light in a process ambient atmosphere.

[0041] The electrical signal from an electric eye 13 is inputted into the signal strength judging machine 14. The reinforcement I_i corresponding to the set points a_i , nickel, and l_i is beforehand formed in the signal strength judging machine, and the size of the signal I of the scattered light and the set point l_i is judged.

[0042] At the time of $I < l_i$, the alarm of in-situ cleaning or overhaul-procedure directions is displayed with the size relation between Signal I and the set point l_i at the time of $I \geq l_i$ of process continuation.

[0043] Moreover, the spatial distribution within time amount change of Signal I , the method of access of the signal I to the set point l_i , and the process unit of Signal I etc. is displayed by the annunciator 15. A process engineer can grasp a process and its device status by this.

[0044] Moreover, it is parallel to this and the signal from the signal strength judging machine 14 is sent also to the process device control machine 16.

[0045] This process device control equipment 16 applies the feedback for maintaining a process unit 12 by the optimal environment according to $I < l_i$ and $I \geq l_i$ to an annunciator 15 being a mere drop.

[0046] For example, if the particle of a minute amount has occurred even if it is a time of a judgment of process continuation being made at the time of $I < l_i$, change of ****, such as power, temperature, and a quantity of gas flow, is detected, and this will be returned or it will be made to change so that optimum conditions can be maintained.

[0047] On the other hand, if it is $I \geq l_i$, standby or operation of the in-situ cleaning machine 17 of a process unit is made to perform, or the halt machine 18 for an overhaul procedure will make it stand by or work, and a process unit will be suspended. If it is not one and two or more set points l_i are used, still finer display and control will be attained.

[0048] On in-situ of the process device status based on the measurement result of the scattered light by particle explained above, and real time, based on a scattered-light reinforcement top type (1), monitoring and the predicted maintenance of defect generating determine the management numeric value of a certain request to the radius a and number density N of particle, and judge the size of the surveyed scattered-light reinforcement, the scattered-light reinforcement decided from these managements numeric value, and **.

[0049] since there is two or more combination of the radius a of the particle which gives the same scattered-light reinforcement, complex index of refraction m , and number density N as shown in a top type (1), if a and not only N but the complex index of refraction m can be presumed according to an individual, since the knowledge about spatial distribution can be acquired for every presentation of particle, when performing a defect's predicted maintenance, effectiveness is markedly alike and improves.

[0050] The method of presuming a , N , and m according to an individual introduces the laser beam in a specific polarization condition in a process unit, and the polarization condition of the scattered light measures the change to it of a laser beam.

[0051] The principle of the polarization analysis method of this scattered light is indicated by the above-mentioned reference 3. Moreover, although the array and component of an optical element on an equipment configuration are made the same as the thing of the reference 3 above-mentioned publication, as a decisive difference is shown in drawing 7, the analyzers 19 installed before the photo detector 26 of the scattered light are using it, fixing and using the revolution quarter-wave length board 20. An

analyzer is rotated and the quarter-wave length board is made to fix by reference 3.

[0052] Through a polarizer 21, the laser beam 22 of a specific polarization condition is introduced into a process unit 12, and the scattered light 24 arises by the particle 23 in the interior. By the this revolution-phase shift child method using a revolution quarter-wave length board, the scattered-light reinforcement I detected by the electric eye 13 is shown by the degree type (3).

[0053]

[Equation 1]

$$I = I_{DC} (2 - Q) - I_{DC} Q \cos 4 \omega t + I_{DC} 2 V \sin 2 \omega t - I_{DC} U \sin 4 \omega t$$

但し、

I_{DC} = 受光素子 26 からの出力の直流 (DC) 成分

$$Q = -\cos 2\Psi$$

$$U = \sin 2\Psi \cos \Delta$$

$$V = -\sin 2\Psi \sin \Delta$$

$\tan \Psi$ = 散乱光の水平偏光成分と垂直偏光成分の強度比

Δ = 散乱光の水平偏光成分と垂直偏光成分の位相差

$\omega = 1/4$ 波長板の回転角速度

[0054] That is, since time amount change of the scattered-light reinforcement in a photo detector 26 contains all the required Stokes parameters, it can carry out the Fourier transform of the time amount change, and can ask for these from the Fourier coefficient of the angular rate of rotation of a quarter-wave length board.

[0055] That is, by the revolution phase shift child method, it can ask for the particle size of particle, an optical constant, number density, etc. from 1 time of a measurement result from two measurement of the existence of a quarter-wave length board being needed in quest of Q, U, and V by the revolution analyzer method of the above-mentioned reference 3. With the conventional technology, while this can carry out monitoring of the particle generating in the difficult process unit on in-situ and real time, it means that particle size, and number density and a refractive index can also be presumed on in-situ and real time.

[0056] And or the particle generated in wafer up space would not grow by the reaction in a process, it comes to be able to perform distinction of whether to originate in exfoliation from an electrode or an equipment wall, if this revolution phase shift child method is used.

[0057] It is because it is known the particle the reason grew up to be by the reaction, the particle produced by exfoliation, and that presentations differ then and a difference of a presentation appears as a difference in a refractive index.

[0058] Namely, according to the gestalt of this operation, the cause of generating can be clarified and the countermeasures suitable for it can be taken now. To the particle which is growing and floating during a reaction, a defect's predicted maintenance is made from reexamination of process conditions, and a viewpoint of modification. On the other hand, to the particle which originates in exfoliation from an equipment wall, the viewpoint of in-situ cleaning of equipment or an overhaul procedure to a predicted maintenance becomes possible.

[0059] In the gestalt of this operation, although the block diagram showing the flow of the signal shown in drawing 1 and drawing 2 is the same, ai, nickel, and li in drawing 4, drawing 5, and drawing 6 can define it to each refractive index m.

[0060] And the predicted maintenance to generating of the defect by particle is performed by the judgment of the signal strength same with having mentioned above.

[0061] Thus, in the gestalt of operation of this invention, monitoring of the condition of a process unit can be carried out on in-situ and real time by detecting the minute particle in a process by the scattered light of a laser beam, and comparing with the value which set up the signal strength beforehand. Furthermore, defect generating can be foreknown in advance, the cause can be removed, and a non-dust-

ized process can be realized.

[0062]

[Example] The example of this invention is explained below that the gestalt of operation of above-mentioned this invention should be explained more to details.

[0063] The case of the heat CVD process of a tungsten is explained as the 1st example of [example 1] this invention. The configuration of this example is shown in drawing 3. The particle diameter of the signal strength of the scattered light and the relation of number density which are obtained by the 532nm of the 2nd higher harmonic of an YAG laser are shown in drawing 8.

[0064] In order to predict poor particle induction and to control a defect's generating, l_2 decided by the lines l_1 , a_2 , and N_2 which set $a_1=20\text{nm}$, $a_2=100\text{nm}$, and number density of this to $3 \times 10^9 \text{ N/cm}^3$ and $2 \times 10^6 \text{ N/cm}^3$, and are decided by a_1 and N_1 in the diameter of particle used as the decision criterion of whether to perform feedback to a heat CVD system is repeatedly shown in drawing 8.

[0065] With reference to drawing 8, when scattered-light reinforcement is smaller than the value decided by l_1 , a defect's generating is not produced.

[0066] Moreover, having produced particle is shown, although it is larger than l_1 , and a defect is not generated when smaller than l_2 .

[0067] And in being larger than l_2 , it shows that the danger that a defect will occur is large.

[0068] The flow of the signal in this example and the control system to a process unit are explained using drawing 1. The value of l_1 and l_2 mentioned above is set as the signal strength judging machine 14.

[0069] When the condition of a process unit 12 is good and particle has hardly occurred, dispersion of the light from a laser light source 11 is hardly produced, but the transmitted signal strength from the electric eye 13 to the signal judging machine 14 is small. The signal strength at this time is recognized to be a thing smaller than l_1 , and that is told to an annunciator 15 and it is displayed. Simultaneously, this purport is told to a process controller 16. And since signal strength is smaller than l_1 , no feedback starts to a process unit 12.

[0070] Moreover, the signal for which actuation of the in-situ cleaning machine 17 is made to stand by from a process controller 16 is told at the same time that is displayed on an annunciator 15, when signal strength is larger than l_1 and smaller than l_2 . Consequently, after processing of the wafer in a process is completed, in-situ cleaning by the plasma using NF_3 gas is performed, and a process unit 12 returns to the original normal condition.

[0071] And when signal strength is larger than l_2 , while that is displayed on an annunciator 15, the signal for which actuation of the halt machine 18 for an overhaul procedure is made to stand by from a process controller 16 is told. If the wafer in a process is inspected with visual-inspection equipment and it is normal in that case, a process will be continued, but when the defect has occurred, it overhauls by suspending a process unit 12.

[0072] Thus, the cutback of the down times of equipment and generating of a defect wafer can be greatly reduced by acting as the monitor of the scattered-light reinforcement, and applying feedback to a process unit based on the result as compared with the value of the set point.

[0073] In this example, although referred to as $3 \times 10^9 \text{ N/cm}^3$ and $2 \times 10^6 \text{ N/cm}^3$, since these values differ according to the equipment used or process conditions, these values are set up according to each case.

[0074] Moreover, although the signal from the signal strength judging machine 14 has composition told in parallel with an annunciator 15 and the process device control machine 16 in this example, as shown in drawing 2, the configuration which an annunciator 15 is told that the signal from the signal strength judging machine 14 is, and a process controller 16 is told that a signal is from an annunciator 15 is also considered. In this case, a process engineer sees an annunciator 15 and makes a process controller 16 operate.

[0075] Moreover, in this example, although not scanned spatially, if the device which scans spatially the laser beam which is one of the components of a laser light source 11 is operated, a laser beam can measure two-dimensional [of scattered-light reinforcement], and three-dimension-distribution by the

annunciator 15, and can know generating and the distribution condition of the particle in a process unit 12.

[0076] The case of the plasma etching process of a tungsten is explained as other examples of [example 2] this invention. The configuration of this example is shown in drawing 9.

[0077] A laser light source 11 can obtain the laser beam 22 with a wavelength of 532nm which became the 45-degree linearly polarized light, after penetrating this polarizer 21 including the laser equipment 25 and the polarizer 21 containing an YAG laser oscillator and the nonlinear optical crystal for second harmonic generations.

[0078] Laser beams 22 are scattered about by the particle 23 which is floating inside a process unit 12. The scattered light 24 passes along the analyzer 19 currently fixed after penetrating the revolution quarter-wave length board 20 which rotates with constant speed, and reaches the photo detector 26 equipped with the interference filter.

[0079] With the data-processing vessel 27, the Fourier transform of the time amount change of optical reinforcement is carried out, and it asks for the coefficient of a top type (3), and asks for the Stokes parameters Q, U, and V further.

[0080] psi and ** which specify the polarization condition of scattered-light reinforcement and the scattered light are computed from these [Q, U, and V]. And the particle size of particle, an optical constant (refractive index), number density, etc. are calculated from these numeric values.

[0081] In order to predict poor particle induction and to control a defect's generating, $a_1=20\text{nm}$, $a_2=100\text{nm}$, and number density of that are set to 3 for the diameter of particle used as the decision criterion of whether to perform feedback to an etching system $1=109\text{ N}[\text{cm}]^3$ and $2=106\text{ N}[\text{cm}]$.

[0082] l_2 decided by the lines l_1 , a_2 , N_2 , and m decided by a_1 , N_1 , and m from the refractive index m computed with these numeric values and data-processing machines 27 is shown in drawing 10.

[0083] If particle size changes with growth of particle or the core of particle and a surface presentation change in process of growth, a refractive index m may change. That is, in drawing 10, the lines l_1 and l_2 of a decision criterion change according to change of the actual measurement of m . With the data-processing vessel 27, since m , a , and N are computed, the size of signal strength can be judged to l_1 and l_2 at each [of measurement] event.

[0084] With reference to drawing 10, when scattered-light reinforcement is smaller than the value decided by l_1 , a defect's generating is not produced.

[0085] Moreover, having produced particle is shown, although it is larger than l_1 , and a defect is not generated when smaller than l_2 .

[0086] And in being larger than l_2 , it shows that the danger that a defect will occur is large.

[0087] The flow of a signal in this example and the control system to a process unit are explained below with reference to drawing 11.

[0088] The signal from an electric eye 13 is inputted into the data-processing machine 27, and the radius a , the number density N , and the refractive index m of particle are computed every moment in the data-processing machine 27.

[0089] a_1 , a_2 , N_1 , and N_2 are beforehand set as the signal strength judging machine 14. [required to decide the value of l_1 and l_2 mentioned above] Size with the scattered-light reinforcement it is decided every moment that the value of l_1 and l_2 will be, and it is decided from a , N , and m is judged to the value of a refractive index m . [reinforcement] [value]

[0090] The condition of a process unit 12 is good, when particle has hardly occurred, the scattered light is hardly produced but the transmitted signal strength from an electric eye 13 and the data-processing machine 27 to the signal judging machine 14 is small. The signal strength at this time is recognized to be a thing smaller than l_1 , and that is told and displayed on an annunciator 15. Simultaneously, this purport is told to a process controller 16. And since signal strength is smaller than l_1 , no feedback starts to a process unit 12.

[0091] Moreover, when signal strength is larger than l_1 and smaller than l_2 , the signal for which actuation of the in-situ cleaning machine 17 is made to stand by from a process controller 16 is told at the same time that is displayed on an annunciator 15.

[0092] Consequently, after processing of the wafer in a process is completed, in-situ cleaning by the plasma using NF₃ gas is performed, and a process unit 12 returns to the original normal condition.

[0093] And when signal strength is larger than I₂, while that is displayed on an annunciator 15, the signal for which actuation of the halt machine 18 for an overhaul procedure is made to stand by from a process controller 16 is told. If the wafer in a process is inspected with visual-inspection equipment and it is normal in that case, a process will be continued, but when the defect has occurred, it overhauls by suspending a process unit 12.

[0094] Thus, the cutback of the down times of equipment and generating of a defect wafer can be greatly reduced by acting as the monitor of the scattered-light reinforcement, and applying feedback to a process unit based on the result as compared with the value of the set point.

[0095] In this example, although referred to as $a_1=20\text{nm}$, $a_2=100\text{nm}$, and $I_1=109\text{ N}[\text{/cm}]^3$ and $I_2=106\text{ N/cm}$, since these values differ according to the equipment used or process conditions, these values are set up according to each case.

[0096] Moreover, although the signal from the signal strength judging machine 14 has composition told in parallel with an annunciator 15 and the process device control machine 16 in this example, as shown in drawing 12, the configuration which an annunciator 15 is told that the signal from the signal strength judging machine 14 is, and a process controller 16 is told that a signal is from an annunciator 15 is also considered. In this case, a process engineer sees an annunciator 15 and makes a process controller 16 operate.

[0097] Moreover, in this example, although not scanned spatially, if the device which scans spatially the laser beam which is one of the components of a laser light source 11 is operated, a laser beam can measure two-dimensional [of scattered-light reinforcement], and three-dimension-distribution by the annunciator 15, and can know generating and the distribution condition of the particle in a process unit 12.

[0098] As the 3rd example of [example 3] this invention, it explains taking the case of the case of the plasma CVD (chemical vapor deposition) of polish recon (poly-Si). It is known for the particle of Si that the wavelength of the Raman-scattering light observed will change with the magnitude of a particle. When the magnitude of Si particle is 7nm, Raman-scattering light arises in a 480cm⁻¹ low-energy side to an exposure laser beam.

[0099] If the magnitude of a particle is set to 8nm and this variation will be set to 10nm 485cm⁻¹, if it is set to 14nm, it will be set to 517cm⁻¹ to 510cm⁻¹. It is observed in 22nm by the 520cm⁻¹ [same] as bulk Si.

[0100] Then, reinforcement I₁ and I₂ is set up, for example, as shown in drawing 13, based on the measurement result of the reinforcement to the wavelength of the Raman-scattering light from a polish recon particle, when the reinforcement of 510cm⁻¹ is smaller than I₁, it does not generate the defect by particle, but when the reinforcement of 520cm⁻¹ exceeds I₂, it is shown that the danger that a defect will occur is large. That is, the monitor of the particle generating condition can be carried out the wavelength by which Raman-scattering light is observed, and by measuring the reinforcement.

[0101] The Rayleigh-scattering light and Raman-scattering light from the process unit 12 shown in drawing 1 are received by the electric eye 13 which consists of a multi-channel spectroscope and a photo multiplier. A spectroscope separates the wavelength of Rayleigh-scattering light, and it of Raman-scattering light, and the reinforcement of each wavelength is measured. These signals are told to the signal strength judging machine 14. The value of I₁ and I₂ is beforehand set to this judgment machine to 510cm⁻¹ and 520cm⁻¹ as mentioned above.

[0102] The signal strength of Raman scattering which hardly produces Raman scattering included in light scattering from a laser light source 11 when the condition of a process unit 12 is good and particle has hardly occurred, but is transmitted from an electric eye 13 to the signal strength judging machine 14 is small. It is recognized as the signal strength of 510cm⁻¹ at this time being smaller than I₁, and that is told and displayed on an annunciator 15. Simultaneously, this is told to a process controller 16. Since signal strength is smaller than I₁, no feedback starts to a process unit 12.

[0103] Moreover, when [than I₁ / when the signal strength of 510cm⁻¹ is larger] it of 520cm⁻¹ is

smaller than I2, about 10nm particle has mainly occurred and it is thought that existence of a bigger thing than this can be disregarded. While the judgment result of this signal strength is displayed on an annunciator 15, the signal for which actuation of the in-situ cleaning machine 17 is made to stand by from a process controller 16 is told. Consequently, after processing of the wafer in a process is completed, in-situ cleaning by the plasma using BCl₃ gas is performed, and a process unit 12 returns to the original normal condition.

[0104] And if the signal strength of the signal of both 510cm⁻¹ and 520cm⁻¹ becomes larger than I2, we will be anxious about defect generating by the generated particle. The signal for which actuation of the halt machine 18 for an overhaul procedure is made to stand by from a process controller 16 is told at the same time that is displayed on an annunciator 15. If the wafer in a process is inspected with visual-inspection equipment and it is normal in that case, a process will be continued, but when the defect has occurred, it overhauls by suspending a process unit 12.

[0105] Thus, the cutback of the down times of equipment and generating of a defect wafer can be greatly reduced by acting as the monitor of the scattered-light reinforcement, and applying feedback to a process unit based on the result as compared with the value of the set point.

[0106] Although the signal from the signal strength judging machine 14 has composition told in parallel with an annunciator 15 and the process device control machine 16 in this example, as the 1st example of the above also explained, and shown in drawing 2, the configuration which an annunciator 15 is told that the signal from the signal strength judging machine 14 is, and a process controller 16 is told that a signal is from there is also considered. In this case, a process engineer sees an annunciator 15 and makes a process controller 16 operate.

[0107] Moreover, in this example, although not scanned spatially, if the device which scans spatially the laser beam which is one of the components of a laser light source 11 is operated, a laser beam can measure two-dimensional [of Raman-scattering light reinforcement], and three-dimension-distribution by the annunciator 15, and can know generating of the particle in a process unit 12, the distribution condition of magnitude, and a spatial distribution condition.

[0108] In the example beyond [an example 4], Rayleigh-scattering light or Raman-scattering light was observed from the longitudinal direction to the incidence laser beam. The incidence laser beam could be pulsed light, or could be continuation light. This example explains below the case where pole ultrashort pulse light is used, with reference to drawing 14 as a laser beam.

[0109] The laser light source 11 contains the device by which a laser beam scans spatially the laser pulsed light oscillator and pulse laser light of 10ps(es). Such light is introduced into a process unit 12, and detects the scattered light reflected by particle by the electric eye 13 currently adjoined and installed in the laser light source 11.

[0110] counting which this electric eye 13 has the time amount disassembler of the pulse width of an incidence laser beam at least, and counts a pulse number further -- it also has the means. By measuring time amount until it reaches an electric eye on the basis of the time amount by which the laser beam was oscillated, the location of the particle which exists in a process unit 12 can be pinpointed.

[0111] It is predicted that the data outputted from an electric eye 13 becomes a graph as shown in drawing 15. The yield of particle can be measured with the scattered-light pulse number reflected.

[0112] The magnitude of particle can be found with the reinforcement of each scattered-light pulse. This reinforcement can be found with Rayleigh-scattering light reinforcement, as mentioned above.

[0113] When the pulse width of a laser beam to irradiate is 10ps(es), if N dyad speed is made into 500 m/s, a molecule will move about 5 micrometers.

[0114] however, the mass of particle -- about 104 times of this -- it is -- supposing -- the speed -- 10- it becomes twice, a travel serves as about 5 pm(s), and most migration of the location of the particle under measurement can be disregarded. That is, spatial resolving power is 5 or more pms.

[0115] As shown in drawing 15, two kinds of set points are established in this example. The 1st set point is [cm] the reinforcement I1 corresponding to magnitude with a particle size of 20nm as a scattered-light pulse number from a different location as 2x10¹⁰ corresponding to 3 10⁹ pieces /, and pulse amplitude.

[0116] The 2nd set point is [cm] the reinforcement I2 corresponding to magnitude with a particle size of 100nm as 2×10^7 corresponding to 3×10^6 pieces /, and pulse amplitude.

[0117] With reference to drawing 14, to two kinds of set points beforehand set as the signal strength judging machine 14, if the pulse number and reinforcement of the scattered light reflected are below the 1st judgment level, it will be judged that defect generating by particle is not produced and no feedback will be applied to a process unit 12.

[0118] If it is below the 2nd judgment level more than the 1st judgment level, actuation of an in-situ cleaning machine will be made to stand by. After processing of the wafer in a process is completed, in-situ cleaning is performed, and a process unit returns to the original normal condition.

[0119] Moreover, when exceeding the 2nd judgment level, actuation of the halt machine for an overhaul procedure is made to stand by. If the wafer in a process is inspected with visual-inspection equipment and it is normal, a process will be continued, but when the defect has occurred, it overhauls by suspending a process unit.

[0120] Thus, the cutback of the down times of equipment and generating of a defect wafer can be greatly reduced by acting as the monitor of the scattered-light reinforcement, and applying feedback to a process unit based on the result as compared with the value of the set point.

[0121] Although this example explained the case where Rayleigh-scattering light was measured, even if it is measurement of Raman-scattering light, it is applied similarly.

[0122] Moreover, as the above-mentioned example 2 explained, the method of measuring the particle size of particle, number density, and a refractive index is also applicable in the polarization analysis of the scattered light. In this case, what is necessary is just to insert the data-processing machine 27 between the electric eye 13 of drawing 14, and the signal strength judging machine 14. The function of the data-processing machine 27 is made to be the same as that of what was explained in the above-mentioned example 2.

[0123]

[Effect of the Invention] As explained above, according to this invention, it acts as the monitor of the particle which exists between absentminded rather than a wafer front face, or its precursor by in-situ, the yield of a wafer is predicted, and the particle monitoring device which enabled condition grasp of a process unit on real time is offered simultaneously.

[0124] Moreover, according to this invention, monitor data is acquired as an image, the system which feeds back loss of the wafer by particle to a process unit that it should prevent beforehand is realized according to the information acquired by the image processing, it makes it possible to prevent generating of poor particle induction in advance, and, thereby, the reliability of a manufacturing process is improved specially.

[Translation done.]

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing for explaining the gestalt of operation of this invention, and is the block diagram showing the flow of a signal.

[Drawing 2] It is drawing for explaining the gestalt of operation of this invention, and is the block diagram showing the flow of a signal.

[Drawing 3] It is drawing showing the outline configuration of the 1st example of this invention.

[Drawing 4] It is the conceptual diagram of the particle diameter dependency of scattered-light reinforcement.

[Drawing 5] It is the conceptual diagram of the particle number density dependency of scattered-light reinforcement.

[Drawing 6] It is the detectable related conceptual diagram of a particle diameter and number density.

[Drawing 7] It is the configuration conceptual diagram of the polarization analysis method of the scattered light.

[Drawing 8] It is the detectable related conceptual diagram of a tungsten particle diameter and number density.

[Drawing 9] It is drawing showing the outline configuration of the 2nd example (when the polarization analysis of the scattered light is used) of this invention, and is a configuration conceptual diagram at the time of using the polarization analysis of the drawing scattered light.

[Drawing 10] It is the related conceptual diagram of the particle diameter in which the detection at the time of using the polarization analysis of the scattered light is possible, and number density.

[Drawing 11] It is the block diagram showing the flow of the signal in the 2nd example of this invention.

[Drawing 12] It is the block diagram showing other examples of the flow of the signal in the 2nd example of this invention.

[Drawing 13] It is drawing for explaining the 3rd example of this invention, and is a strong conceptual diagram to the wavelength of the Raman-scattering light from a polish recon (poly-Si) particle.

[Drawing 14] It is drawing showing the outline configuration of the 4th example of this invention.

[Drawing 15] It is the conceptual diagram of the time-resolved-measurement result of the pulse scattered light.

[Description of Notations]

11 Laser Light Source

12 Process Unit

13 Electric Eye

14 Signal Strength Judging Machine

15 Annunciator

16 Process Device Control Machine

17 In-situ Cleaning Machine

18 Halt Machine for Overhaul Procedure

19 Analyzer

20 Revolution Quarter-wave Length Board

21 Polarizer

22 Laser Beam

23 Particle

24 Scattered Light

25 Laser Equipment

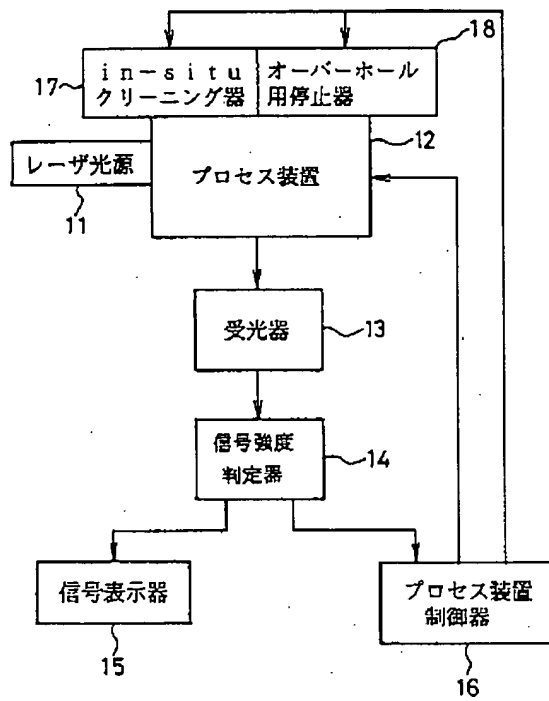
26 Photo Detector

27 Data-Processing Machine

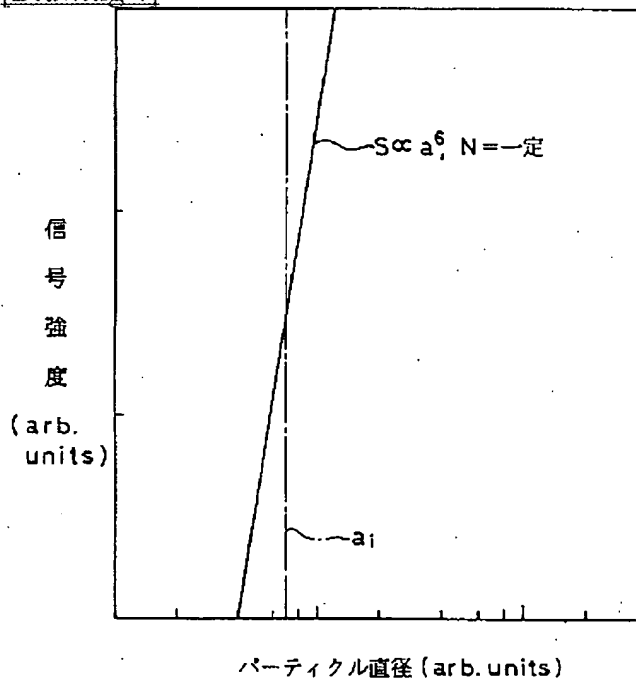
[Translation done.]

DRAWINGS

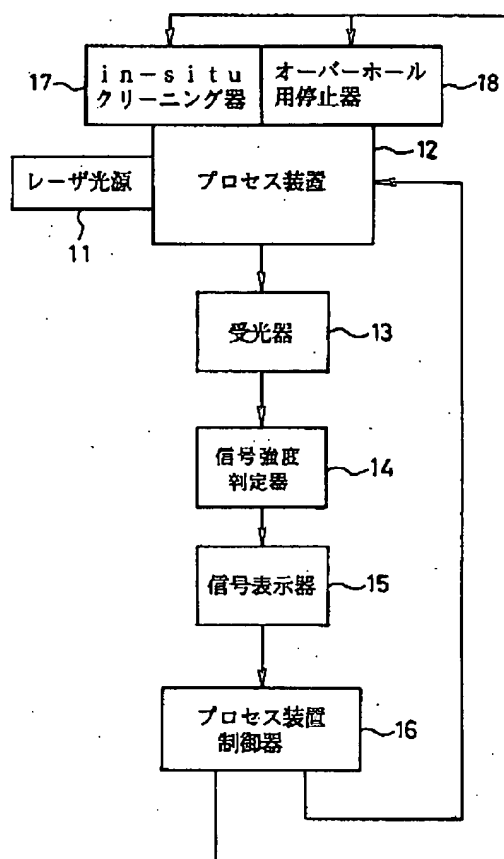
[Drawing 1]



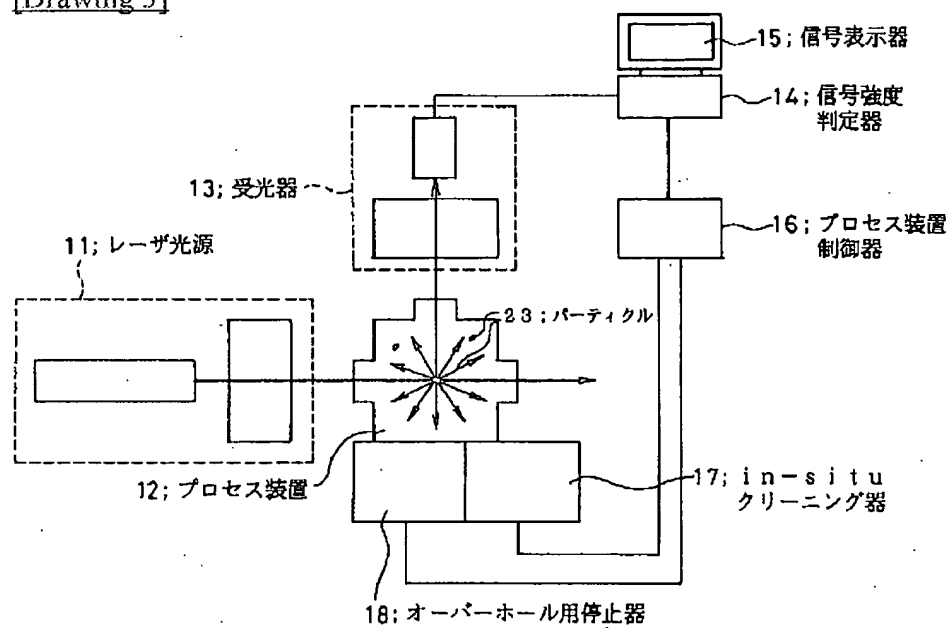
[Drawing 4]



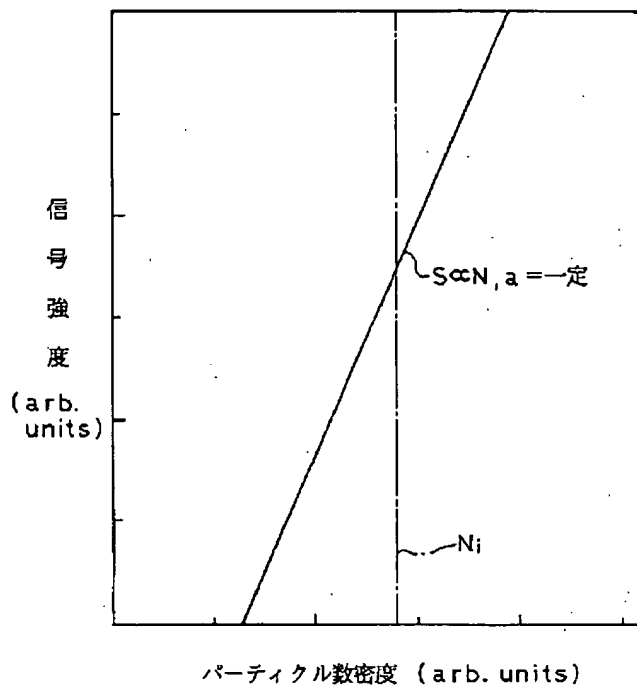
[Drawing 2]



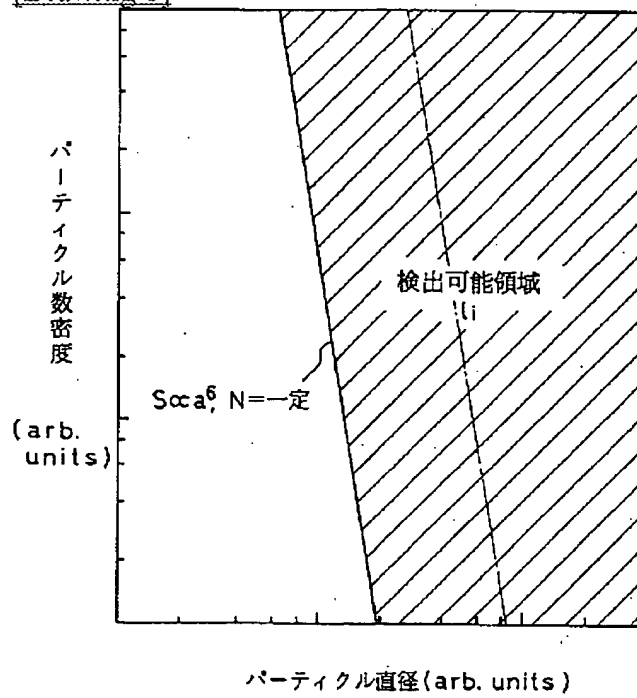
[Drawing 3]



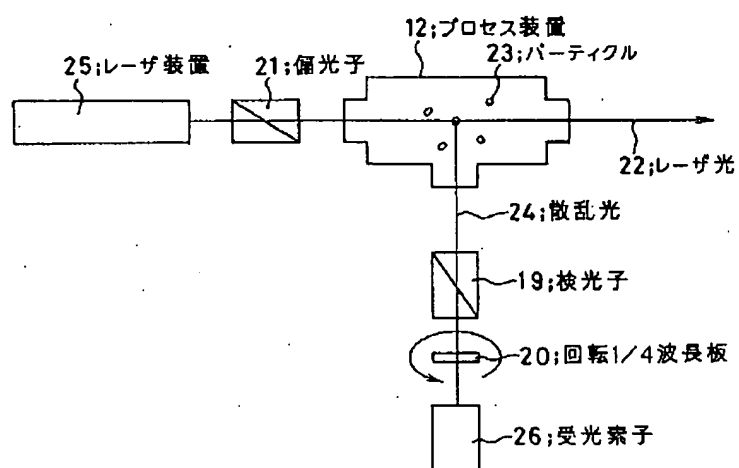
[Drawing 5]



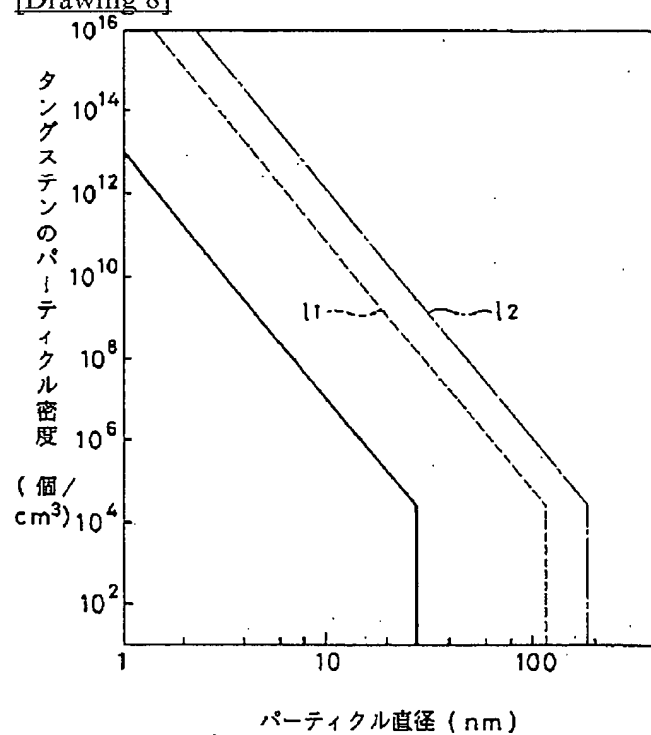
[Drawing 6]



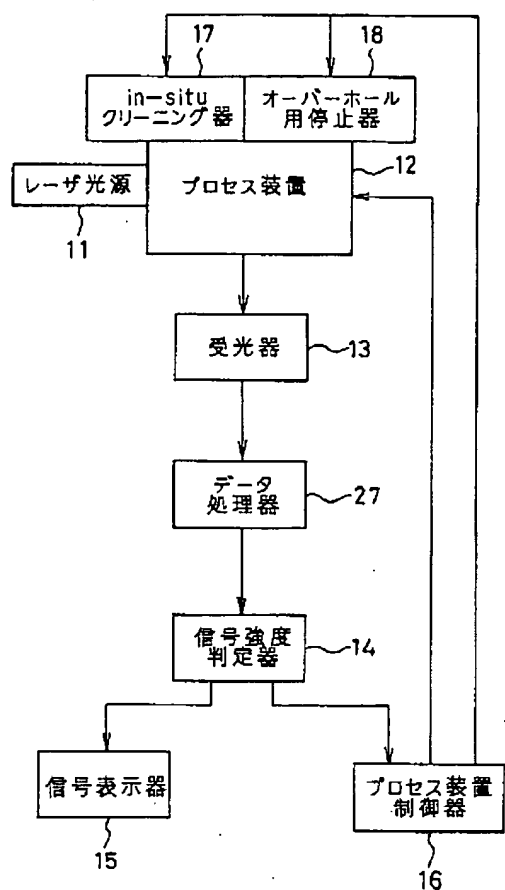
[Drawing 7]



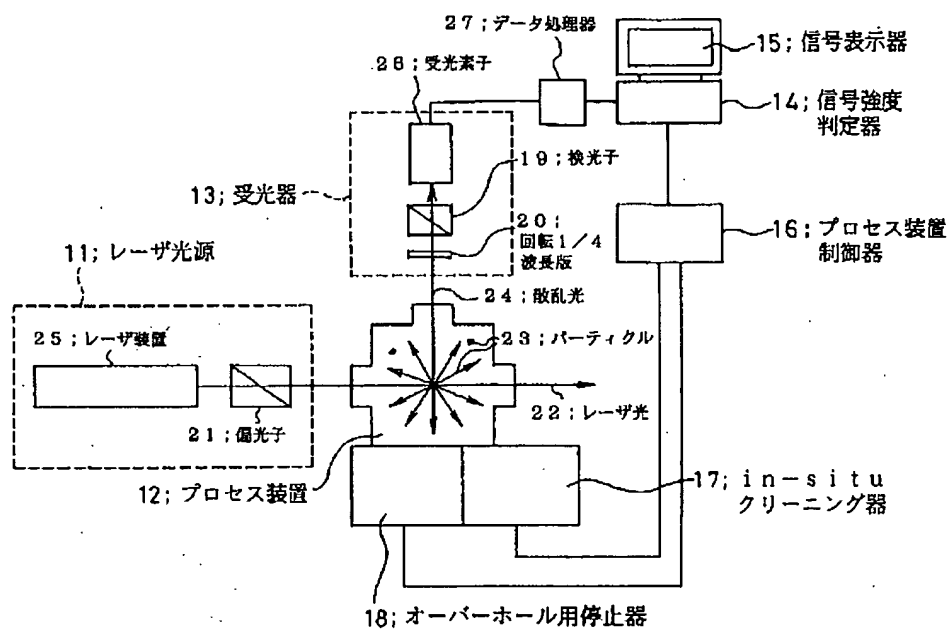
[Drawing 8]



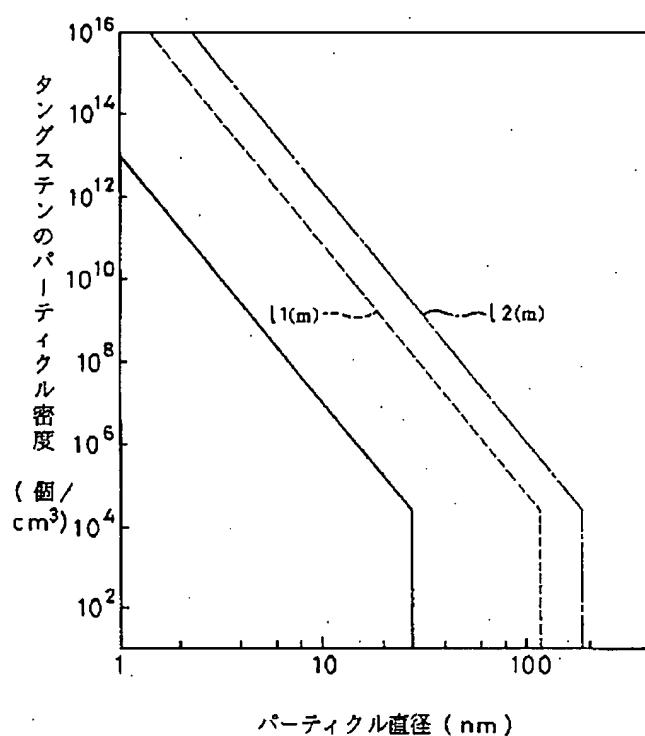
[Drawing 11]



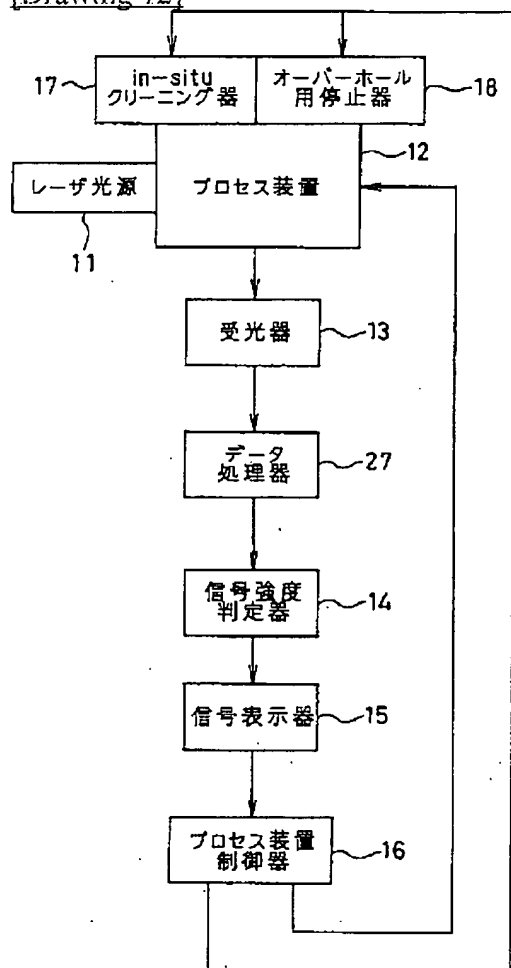
[Drawing 9]



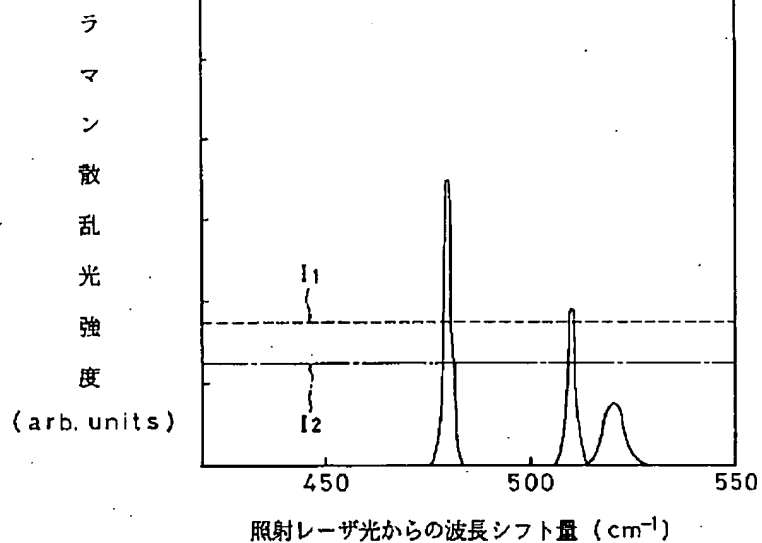
[Drawing 10]



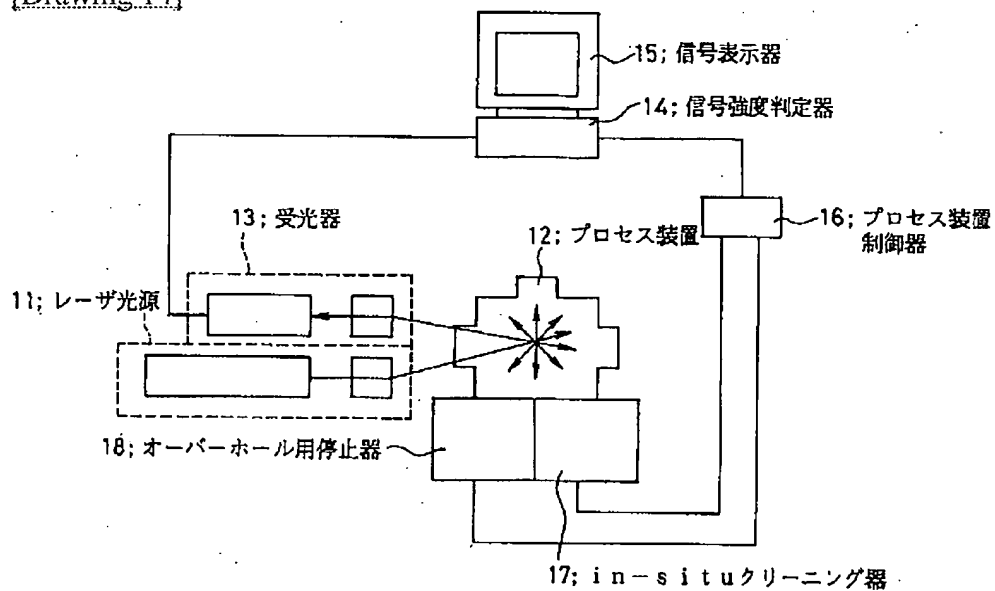
[Drawing 12]



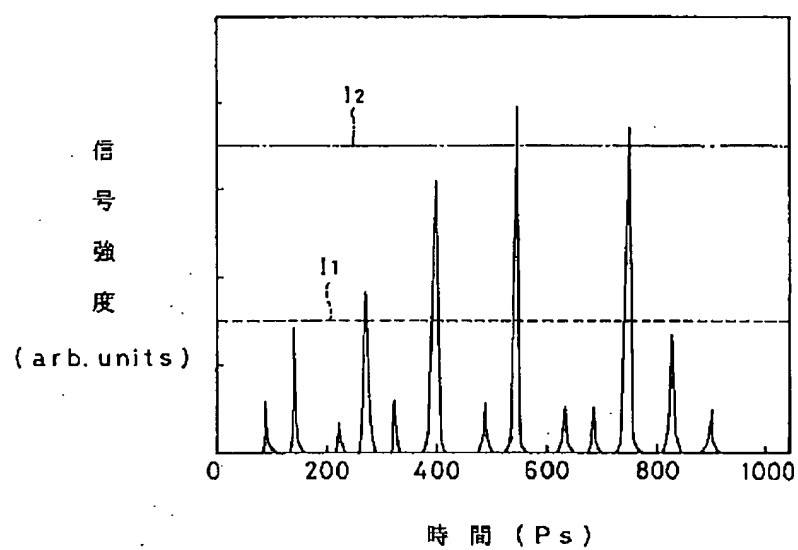
[Drawing 13]



[Drawing 14]



[Drawing 15]



[Translation done.]

PAT-NO: JP410010036A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10010036 A

TITLE: PARTICLE MONITOR DEVICE AND DUST ELIMINATING PROCESS
DEVICE HAVING THE MONITOR DEVICE

PUBN-DATE: January 16, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

UESUGI, FUMIHIKO

ITO, NATSUKO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

NEC CORP

N/A

APPL-NO: JP08301361

APPL-DATE: October 25, 1996

INT-CL (IPC): G01N015/14, G01N021/21 , G01N021/49 , H01L021/66

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To previously prevent the occurrence of particle induction failure by measuring a particle existing in a wafer upper space in in situ real time.

SOLUTION: The Rayleigh scattered light and the Raman scattered light by a particle floating in a process device 12 are converted into an electric signal by a photodetector 13, and is transmitted to a signal intensity judging unit 14. Scattered light intensity on the basis of a correlation between a particle generating condition and a wafer yield is preset in this judging unit. Its condition is transmitted to a signal display unit 15 or a process controller 16 according to the magnitude relationship between obtained scattered light intensity and a preset value, and the controller 16 transmits a signal corresponding to a result in the judging unit 14 to an in-situ cleaning unit 17 or a stopper 18 for an overhaul, and these actuation is made to stand by or is actually performed.

COPYRIGHT: (C)1998JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-10036

(43)公開日 平成10年(1998)1月16日

(51)IntCl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 N 15/14			G 0 1 N 15/14	D
	21/21		21/21	Z
	21/49		21/49	Z
H 0 1 L 21/66			H 0 1 L 21/66	Z

審査請求 有 請求項の数4 F D (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平8-301361

(22)出願日 平成8年(1996)10月25日

(31)優先権主張番号 特願平8-130957

(32)優先日 平8(1996)4月26日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 上杉 文彦

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(72)発明者 伊藤 奈津子

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

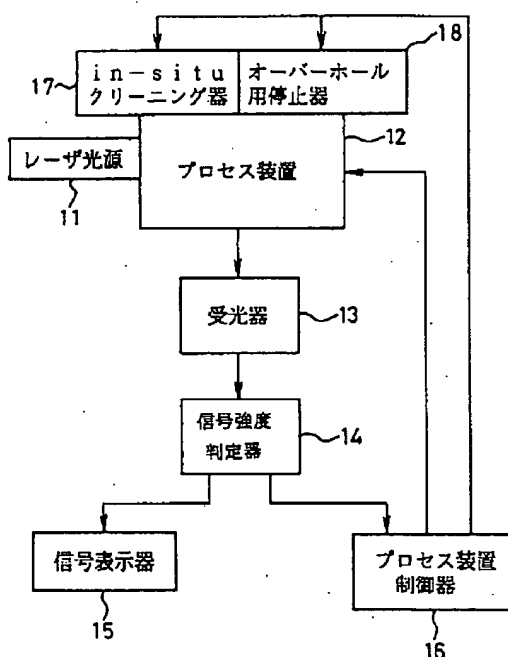
(74)代理人 弁理士 加藤 朝道

(54)【発明の名称】 パーティクルモニター装置およびこれを具備した無塵化プロセス装置

(57)【要約】

【課題】ウェハ上空間に存在するパーティクルを *in-situ*・リアルタイムで計測し、パーティクル誘起不良の発生を事前に防止する。

【解決手段】プロセス装置12中に浮遊しているパーティクルによるレーリー散乱光やラマン散乱光を受光器13で電気信号に変換し、信号強度判定器14に伝達する。この判定器には、予めパーティクル発生状況とウェハ歩留まりの相関に基づいた散乱光強度が設定されている。得られた散乱光強度と設定値との大小関係に応じて、その状況を信号表示器15またはプロセス制御器16へ伝達し、制御器16は、判定器14での結果に対応した信号を *in-situ*クリーニング器17またはオーバーホール用停止器18に伝え、これらの作動をスタンバイまたは実際に作動させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】光源と、

プロセス装置と、

前記光源からの光を前記プロセス装置に導入する手段と、

前記プロセス装置内からの散乱光または発光を測定する受光手段と、

前記受光手段からの信号強度を所定の値と比較して大小を判定する信号強度判定手段と、

前記プロセス装置内からの散乱光または発光の強度、又はその強度分布を表示する手段、及び／又は、前記散乱光又は発光を引き起こす物質の大きさ、及び数などの分布状態を表示する手段と、
を含むことを特徴とするパーティクルモニター装置。

【請求項2】光源と、

プロセス装置と、

前記光源からの光の偏光状態を所望の状態にする光学的手段と、

前記光学的手段からの光を前記プロセス装置に導入する手段と、

前記プロセス装置内からの散乱光または発光の偏光状態を波長板を回転して測定する受光手段と、

前記受光手段からの信号強度を所定の値と比較して大小を判定する信号強度判定手段と、

前記プロセス装置内からの散乱光または発光の強度、またはその強度分布を表示する手段、及び／又は、前記散乱光または発光を引き起こす物質の大きさ、数、屈折率などの分布状態を表示する手段と、
を含むことを特徴とするパーティクルモニター装置。

【請求項3】請求項1又は2に記載のパーティクルモニター装置において、

前記受光器からの信号強度を所定の値と比較する信号強度判定手段からの比較結果信号に基づいて作動する前記プロセス装置の出力を制御する手段、前記プロセス装置に装着したイン・シチュー（in-situ）クリーニング手段、及び前記プロセス装置のオーバーホールを指示する手段のうちの少なくとも1つを含むことを特徴とする無塵化プロセス装置。

【請求項4】前記信号強度判定手段が、パーティクルの粒径及び／又は濃度に関連して、予め設定されるしきい値を前記受光手段からの信号強度と比較判定することを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のパーティクルモニター装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、パーティクルモニター装置に関し、特に、ウェハ上の空間に存在するパーティクルまたはその前駆体をイン・シチュー（in-situ）でモニターし、プロセス装置内のパーティクルの存在状態をリアルタイムで把握しウェハにパーティ

クルが付着することによって生じる不良を予知する装置に関する。また本発明は、パーティクルの存在情報に基づいてウェハ上の空間からパーティクルを除去する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】LSIの量産段階での歩留まりに最も影響を与える要因の1つとしてパーティクル起因の欠陥があることはよく知られている。このため、半導体製造工程においては、量産のいくつかの工程が終了するたびに、パーティクルの検査を行っている。パーティクルの検査として、従来、表面レーザ光を照射してその散乱光からパーティクルを検出するものと、隣り合うチップの画像の比較から差分を取り出すことによって検出する方法が用いられている。

【0003】ところが、これらの従来の方法では、LSIが微細化するにつれて、表面の凹凸が、パーティクルのサイズよりも大きくなるに至り、このため、パーティクルを検出することが困難となっている。

【0004】そこで、工程終了後に検査する替わりに、装置内のパーティクルを測定する方法が考えられている。

【0005】レーザ光散乱によって装置のパーティクルを測定する方法の従来技術として、例えば特開平3-39635号公報には、粒子径が0.07μm以下であるような微粒子であっても、精度良く検出できる装置を提供することを目的として、光ビームを発生する光源と、光ビームの光軸上に設けた、被測定流体が流されるフローセルと、このフローセルに対向し、かつ上記光軸に関して対象になる位置にそれぞれ1個ずつ設けた合わせて2個の受光器と、これら2個の受光器に接続して設けた検出部と、を有し、かつ上記検出部は、上記2個の受光器にそれぞれ接続して設けたそれら各受光器の出力信号のうち、予め設定したしきい値を超えている出力信号のみを取り出す、合わせて2個の識別回路と、これら2個の識別回路に接続して設けた、これら2個の識別回路の出力信号のうち、同時性をもつ出力信号のみを選択して出力する判定回路と、この判定回路の出力信号を計数するカウンタ回路を備えている微粒子測定装置が提案されている。

【0006】散乱光を電気信号に変換して表示する従来技術としては、例えば特開平4-352077号公報、実開平3-39721号公報の記載が参照される。またセルビン（Gary S. Selwyn）による論文（ジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌、第B9巻、1991年、第3487～3492頁）（「文献1」という）の記載が参照される。さらに、渡辺らによる論文（アプライド フィジックス レターズ誌（Applied Physics Letters）、第61巻、1992年、第1510頁～1512頁）（「文献2」という）の記載も参照される。

【0007】また、所望の偏光状態のレーザ光を用いて、パーティクルによって散乱された光の偏光状態の入射レーザ光のそれに対する変化を測定する方法がある。レーザ発振器からのレーザ光を偏光子を通して、水平面に対する方位角 45° の直線偏光にした後に、プロセス装置に導入する。パーティクルによる散乱光は、回転検光子を通過後、光検出器に到達する。光検出器からの信号強度を、光検出器の前に装着した $1/4$ 波長板を通した場合と、 $1/4$ 波長板を使用しない場合の2通りについて測定すると、回転検光子の回転周波数で変調が掛かった時間的に変動する信号が得られる。これをフーリエ変換すると、パーティクルの組成、数密度、分布を決めるのに必要なストークスパラメータが求まる。

【0008】この方法の具体例は、例えば、林らによってジャパニーズ ジャーナル オブアプライド フィジクス (Jpn. J. Appl. Phys.) 誌の第33巻(1994年)の第L476頁からL478頁に発表された論文(「文献3」という)が参照される。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記した従来技術のうち、上記特開平3-39635号公報に記載の技術は、レーザ光散乱を用いて液体中または気体中などの流体中のパーティクルを測定する装置に関するものであるが、フローセルに被測定流体を導入して測定を行うものであるため、ウェハ上のパーティクルとの相関をとりにくいという問題がある。

【0010】また、散乱光を画像信号に変換し処理する従来技術としては、上記した特開平4-352077号公報に記載されたものがあるが、しかし、この従来技術では、発煙または発塵がある場合の画像を、それがないときのもとの比較して差分から発煙や発塵を認識するものであり、煙や塵の濃度や粒径、その分布を測定するものではないため、発煙や発塵の機構に遡ることが困難とされ、発生源に対して速やかな対処方法を指示することは困難である。

【0011】さらに、実開平3-39721号公報に記載の従来技術は、散乱光強度をある特定の受光素子に集光し、パーティクルの大きさを複数の配列されたLED(半導体発光素子)で表示し、パーティクルの濃度をプリンタに出力するものである。しかしながら、この従来の方法では、プロセス装置内でのパーティクル発生源の特定やウェハの歩留まりに直接関与するパーティクルの発生源を特定することが困難である。

【0012】また、プロセス装置内のウェハ表面上の空間におけるパーティクルを光散乱で測定し、散乱光をCCD(電荷蓄積素子)カメラで測定して画像を得る方法が例えば、セルビン(Gary S. Selwyn)によって上記文献1(ジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌、第B9巻、1991年、第3487頁〜3492頁)に記載されている。また、類似の

ものが渡辺らによって上記文献2(アプライド フィジックス レターズ誌(Applied Physics Letters)、第61巻、1992年、第1510頁〜1512頁)に記載されている。

【0013】これらの各文献に報告されている散乱光の2次元画像は、微少数 10nm 程度の大きさのパーティクルからの散乱光と、サブ μm から μm 程度の大きなパーティクルからの散乱光とが同一の画像として捉えられている。しかしながら、この画像では、パーティクル全体が1つの輝いている雲のように観測されているだけである。そして、得られた画像を一旦テープに採ってから(記憶してから)、輝度に応じて粒径の空間分布を計算している。

【0014】このため、ウェハ表面よりも上の空間に存在するパーティクルの分布をリアルタイムで測定することができず、ウェハの歩留まりや装置の時々刻々変わる状況を追跡できないという問題がある。したがって、このような画像の取得後の処理では、ウェハ損失を防止するために、例えば量産プロセス技術者は、とるべき行動を判断し難いという問題がある。

【0015】また、パーティクルの粒径とその密度を測定するために、所望のプロセス中の空間の1点からの散乱光を測定しているが、この方法ではパーティクルの全体の動きや分布の時間変化が解らない。すなわち、この場合にも、ウェハ損失を防止するために、量産プロセス技術者がとるべき行動を判断しにくいという問題がある。

【0016】さらに、上記文献3に記載されるような、回転検光子法を用いた散乱光の偏光解析では、 $1/4$ 波長板を挿入した時と、外した時の、各々の場合について、測定しないと、パーティクルの粒径、数密度、屈折率を推定するのに必要なストークス・パラメータ全てを求めることができない。

【0017】現在、LSIの製造工程では枚葉式プロセス装置が主流となっており、ウェハ1枚当りのプロセス時間は60秒から120秒程度とされている。したがって、この時間内で、パーティクルの発生状況を時々刻々モニターし、その結果を、リアルタイムでプロセス技術者に提供する必要がある。

【0018】ところが、回転検光子法では、ウェハへのプロセス時間、高々120秒内で、時々刻々の変化を追跡する目的には、この方法を適用することは、困難である。すなわち、 $1/4$ 波長板の有無の2回の測定をする間に、パーティクルの成長が進行するために、得られた結果から求まるストークスパラメータが、特定の時刻でのプロセス環境を反映できない、という問題点がある。

【0019】したがって、本発明は、上記従来技術の問題点に鑑みてなされたものであって、その目的は、ウェハ上空間に存在するパーティクルをin-situ、かつリアルタイムで計測し、パーティクル誘起不良の発生

を事前に防止する装置を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明のパーティクルモニター装置は、光源と、プロセス装置と、前記光源からの光を前記プロセス装置に導入する手段と、前記プロセス装置内からの散乱光または発光を測定する受光手段と、前記受光手段からの信号強度を所定の値と比較して大小を判定する信号強度判定手段と、前記プロセス装置内からの、散乱光、発光の強度、またはその強度分布を表示させる手段と、及び／又は、前記散乱光や発光を引き起こす物質の大きさ、数などの分布を表示させる手段と、を含むことを特徴とする。

【0021】また、本発明は、LSIの生産工程で使用するプロセス装置内で発生するパーティクルをレーザ光散乱法を用いるモニター装置であって、散乱光の偏光状態の変化を検光子と波長板を用いて測定する装置において、パーティクルの屈折率、粒径およびその分布、数密度を推定するのに必要なストークスパラメータを、プロセス装置の時々刻々の変化に応じて求めるために、波長板を回転させる機構を具備することを特徴とするパーティクルモニタリング装置を提供する。

【0022】さらに、本発明は、パルスレーザ光を使用し、レーザ光のパルス数を計数して、所望のパルス数ごとに波長板を回転させることを特徴としている。

【0023】また、本発明は、上記パーティクルモニター装置において、前記受光器からの信号強度を所定の値と比較する信号強度判定手段からの比較結果信号に基づいて作動する前記プロセス装置の用力を制御する手段、または前記プロセス装置に装着したイン・シチュー（in-situ）クリーニング手段、または前記プロセス装置のオーバーホールを指示する手段の少なくとも1つを具備することを特徴とする無塵化プロセス装置を提供する。

【0024】

【発明の実施の形態】以下に本発明の好ましい実施の形態及び実施例を説明する。

【0025】まず本発明の原理・作用を以下に説明する。プロセス誘起パーティクルによる不良の予知保全のためには、数nmから数10nmの大きさのパーティクルを検出することが必要である。プロセス中の反応に影響を与えない波長を与えると通常可視領域の光を使用する必要がある。

【0026】この場合、対象とするパーティクルは波長より桁で小さく、光散乱はレイリー散乱が主になると考えてよい。通常半径a、複素屈折率m、数密度Nのパーティクルによる波長λの光のレイリー散乱光強度Iは、入射光強度をI₀とし、散乱体と測定点の間の距離をr、散乱体から測定点に向かう方向とレーザ光の進行方向とをなす角をθとすると、次式(1)で表されること

が知られている。

【0027】

$$I = A \cdot (2\pi/\lambda)^4 \cdot f(m) \cdot a^6 \cdot N \cdot I_0 \quad \dots (1)$$

但し、

$$A = (1 + \cos^2 \theta) / 2r^2$$

$$f(m) = |(m^2 - 1) / (m^2 + 2)|^2$$

【0028】散乱光を受光器で受けたとき、受光器の電気信号への変換効率をηとすると発光器からの信号強度Sは次式(2)で表される。

$$S = \eta I \quad \dots (2)$$

【0030】図3に示すように、プロセス装置12中のパーティクルからの散乱光を入射レーザ光に対して直角方向から観測する場合を考える。パーティクルからの散乱光をCCD素子アレーの受光素子からなる受光器13で受けたとき、受光素子からの信号強度のパーティクル直径依存性は図4、数密度依存性は図5にそれぞれ示すようなものとなる。また、これらの結果から検出可能なパーティクルの直径と数密度の関係は図6に示すようなものとなる。

【0031】一方、ウェハ表面へのパーティクル誘起不良を事前に予知し防止するためには、不良発生につながるが、その時点では不良を生じさせない大きさと数密度の微小パーティクルをプロセス中にイン・シチュー（in-situ）で検出し、これらが成長する過程をリアルタイムでモニターする必要がある。

【0032】さらに、この微小パーティクルの大きさと数密度の時間変化をモニターする過程で、所定の大きさ、または所定の数密度を越えるとプロセス技術者にそのことを知らせるか、またはプロセス装置の用力を自動制御してパーティクル発生を抑制したり、in-situクリーニングしたり、装置のオーバーホールを指示する。

【0033】モニターの過程でこのような判断をする基準になるパーティクルの大きさを図4のa_i、または数密度を図5のN_iとする。また、図6に、このa_iとN_iから決まる直線l_iを示す。

【0034】a_i、N_i、さらにはl_iは、プロセスの種類や材料、さらには使用装置によって異なるし、製造するLSIの集積度によっても異なる。また、判断がプロセスの継続と中断といった1種類だけでなく、微小パーティクル発生の警報、不良発生の可能性の警報、クリーニングの指示、オーバーホールの指示、などのように多段階の判断を行うときには、それぞれの判断基準となるa_i、N_i、l_iを指定する必要がある。

【0035】本発明においては、散乱光を発生させるための入射レーザ光は連続光であってもパルス光であってもよいが、パルス光を用いて散乱光を測定する場合、さらなる利点がある。後方散乱、または前方散乱の観測において、上述した散乱光強度の式にしたがって、その強

度からパーティクルの大きさの情報が得られる。

【0036】また、ある1つの入射パルス光の入射時間を基準にして、観測される散乱光のパルスの数から、存在しているパーティクル数に関する情報が得られる。すなわち、パーティクルの大きさと数とを分離して計測できることになる。

【0037】図1は、本発明の実施の形態の構成を示すブロック図であり、パーティクルのモニターから一連の動作までを示すブロック図である。

【0038】図1を参照すると、本発明の実施の形態においては、レーザ発振器とレーザ光を空間的に走査する機器からなるレーザ光源11からのパルス光または連続光がプロセス装置12に導入され、この内部に浮遊しているパーティクルによって散乱光が生じる。この散乱光はレーリー散乱のように、入射光と同じ波長の散乱光であっても良いし、ラマン散乱のように入射光と異なる波長のものであっても良い。主な散乱形態はレーリー散乱であるが、対象とする材料によってはラマン散乱が生じることも期待できる。また、このような散乱だけではなく、材料によっては発光の観測も期待できる。

【0039】散乱光は受光器13で電気信号に変換される。この電気信号への変換は、散乱光強度に線形に比例することが好ましいが、散乱光強度と電気信号とが1対1に対応するのであれば非線形であってもよい。

【0040】この受光器13としては、CCD、フォトマルチプライヤー、マルチチャネルプライヤーなどをはじめとする光電変換装置ならなんでもよい。また、この受光器13の前に分光器を装着してもよい。ラマン散乱や発光の観測の場合には、入射レーザ光やプロセス雰囲気中の光からの分離に有効である。

【0041】受光器13からの電気信号は信号強度判定器14に入力される。信号強度判定器には予め、設定値 a_i 、 N_i 、 I_i に対応する強度 I_i が設けられており、散乱光の信号 I と設定値 I_i との大小を判断する。

【0042】信号 I と設定値 I_i の大小関係によって $I < I_i$ の時にはプロセス継続の、 $I \geq I_i$ の時にはin-situクリーニングやオーバーホール指示の警報の表示をする。

【0043】また信号 I の時間変化、設定値 I_i への信号 I の接近の仕方、信号 I のプロセス装置内での空間分布などを信号表示器15で表示する。これによってプロセス技術者がプロセスやその装置状態を把握できる。

【0044】また、これと平行して、信号強度判定器14からの信号は、プロセス装置制御器16へも送られる。

【0045】このプロセス装置制御器機16は、信号表

示器15が単なる表示器であるのに対して、 $I < I_i$ 、 $I \geq I_i$ に応じてプロセス装置12を最適環境に維持するためのフィードバックをかける。

【0046】例えば、 $I < I_i$ の時、プロセス継続の判断が下されているときであっても、微量のパーティクルが発生しているのであれば、電力、温度、ガス流量などの用力の変化を検出してこれを元に戻したり最適条件を維持できるように変化させる。

【0047】一方、 $I \geq I_i$ であれば、プロセス装置のin-situクリーニング器17のスタンバイまたは稼働を行わせたり、オーバーホール用停止器18のスタンバイまたは稼働させてプロセス装置を一時停止したりする。設定値 I_i を1つではなく複数用いると、さらにきめ細かな表示や制御が可能になる。

【0048】以上説明した、パーティクルによる散乱光の計測結果に基づいたプロセス装置状態のin-situ、リアルタイムでモニタリング、及び、不良発生の予知保全は、散乱光強度の上式(1)に基づいて、パーティクルの半径 a 、数密度 N に対してある所望の管理数値を決めて、実測された散乱光強度と、これら管理数値から決まる散乱光強度と、の大小を判定するものである。

【0049】上式(1)から分かるように、同一の散乱光強度を与えるパーティクルの半径 a 、複素屈折率 m 、数密度 N の組み合わせが複数あるので、 a 、 N だけでなく、複素屈折率 m も個別に推定できれば、パーティクルの組成ごとに空間分布に関する知見を得られるので、不良の予知保全を行う上で有効性が格段に向上する。

【0050】 a 、 N 、 m を個別に推定する方法は、特定の偏光状態にあるレーザ光をプロセス装置内に導入して、散乱光の偏光状態がレーザ光のそれに対する変化を計測するものである。

【0051】この散乱光の偏光解析方法の原理は、上記文献3に記載されている。また装置構成上の光学素子の配列と構成要素は、上記文献3記載のものと同じとされるが、決定的な差は、図7に示すように、散乱光の受光素子26の前に設置する検光子19は固定して使用することと、回転1/4波長板20を使用することである。文献3では検光子を回転させ、1/4波長板は固定させている。

【0052】偏光子21を介して特定の偏光状態のレーザ光22が、プロセス装置12に導入され、内部にあるパーティクル23によって散乱光24が生じる。これを回転1/4波長板を用いる回転移相子法では、受光器13で検出される散乱光強度 I は次式(3)で示される。

【0053】

【数1】

$$I = I_{DC} (2 - Q) - I_{DC} Q \cos 4 \omega t + I_{DC} 2 V \sin 2 \omega t - I_{DC} U \sin 4 \omega t$$

但し、

I_{DC} = 受光素子26からの出力の直流(DC)成分

$Q = -\cos 2\Psi$

$U = \sin 2\Psi \cos \Delta$

$V = -\sin 2\Psi \sin \Delta$

$\tan \Psi$ = 散乱光の水平偏光成分と垂直偏光成分の強度比

Δ = 散乱光の水平偏光成分と垂直偏光成分の位相差

ω = 1/4波長板の回転角速度

【0054】すなわち、受光素子26における、散乱光強度の時間変化は、必要なストークス・パラメータ全てを含んでいることから、時間変化をフーリエ変換して、1/4波長板の回転角速度のフーリエ係数から、これらを求めることができる。

【0055】すなわち、上記文献3の回転検光子法では、Q、U、Vを求めるには1/4波長板の有無の2回の計測が必要とされるのに対して、回転移相子法では、一回の測定結果から、パーティクルの粒径、光学定数、数密度などを求めることができる。このことは、従来技術では困難であったプロセス装置内のパーティクル発生をin-situ、リアルタイムでモニタリングできると同時に、粒径や数密度、屈折率もin-situ、リアルタイムで推定できることを意味する。

【0056】そして、この回転移相子法を用いると、ウェハ上空間で発生するパーティクルがプロセス中の反応によって成長したものか、それとも電極や装置内壁からの剥離に起因するかの区別ができるようになる。

【0057】その理由は、反応によって成長したパーティクルと、剥離によって生じたパーティクルと、では、組成が異なることが知られており、組成の相違は、屈折率の違いとして現れる、からである。

【0058】すなわち、この実施の形態によれば、発生原因を明確にでき、それに適した対応策を採ることができるようになる。反応中に成長し浮遊しているパーティクルに対してはプロセス条件の見直し、変更の観点から不良の予知保全ができる。一方、装置内壁からの剥離に起因するパーティクルに対しては装置のin-situ クリーニングやオーバーホールの観点から予知保全が可能になる。

【0059】この実施の形態において、図1、図2に示した信号の流れを示すブロック図は、同じであるが、図4、図5、及び図6における a_i 、 N_i 、 l_i が、各屈折率 m に対して定めることができる。

【0060】そして、上述したのと同様な信号強度の判定で、パーティクルによる不良の発生に対する予知保全が行われる。

【0061】このように、本発明の実施の形態においては、プロセス中の微小パーティクルをレーザ光の散乱光*50

*で検出し、その信号強度を予め設定した値と比較することによって、プロセス装置の状態をin-situ、リアルタイムでモニタリングすることができる。さらに不良発生を事前に予知してその原因を除去でき、無塵化プロセスを実現できる。

【0062】

【実施例】上記した本発明の実施の形態をより詳細に説明すべく、本発明の実施例を以下に説明する。

【0063】[実施例1] 本発明の第1の実施例として、タングステン熱CVDプロセスの場合について説明する。図3に、本実施例の構成を示す。YAGレーザの第2高調波532nmで得られる散乱光の信号強度のパーティクル直径と数密度の関係を図8に示す。

【0064】パーティクル誘起不良を予測し不良の発生を抑制するために、熱CVD装置へのフィードバックを行うか否かの判断基準となるパーティクルの直径を、 $a_1 = 20 \text{ nm}$ 、 $a_2 = 100 \text{ nm}$ 、また、これの数密度を $N_1 = 10^9 \text{ 個/cm}^3$ 、 $N_2 = 10^6 \text{ 個/cm}^3$ とし、 a_1 と N_1 で決まる線 l_1 、 a_2 と N_2 で決まる l_2 を、図8に重ねて示す。

【0065】図8を参照して、散乱光強度が l_1 で決まる値よりも小さいときは不良の発生は生じない。

【0066】また l_1 よりも大きく、 l_2 よりも小さいときには不良は発生しないが、パーティクルは生じていることを示す。

【0067】そして、 l_2 よりも大きい場合には、不良が発生する危険性が大きいことを示す。

【0068】本実施例での信号の流れ、及びプロセス装置に対する制御方式を図1を用いて説明する。上述した l_1 と l_2 の値は信号強度判定器14に設定しておく。

【0069】プロセス装置12の状態が良くパーティクルがほとんど発生していないときには、レーザ光源11からの光の散乱はほとんど生じず、受光器13から信号判定器14への伝わる信号強度は小さい。このときの信号強度は l_1 よりも小さいものと認識され、その旨が信号表示器15に伝えられ、表示される。同時に、この旨はプロセス制御器16に伝えられる。そして信号強度が l_1 よりも小さいので、プロセス装置12に対しては何のフィードバックもかからない。

11

【0070】また信号強度が I_1 よりも大きく I_2 よりも小さいときには、その旨が信号表示器15に表示されると同時に、プロセス制御器16からin-situクリーニング器17の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その結果、プロセス中のウェハの処理が終了するとNF₃ガスを用いたプラズマによるin-situクリーニングが行われ、プロセス装置12は元の正常な状態に戻る。

【0071】そして信号強度が I_2 よりも大きいときには、その旨が信号表示器15に表示されると共に、プロセス制御器16からオーバーホール用停止器18の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その際、プロセス中のウェハを外観検査装置で検査して異常がなければプロセスを継続するが、不良が発生しているときにはプロセス装置12を停止してオーバーホールを実施する。

【0072】このように、散乱光強度をモニターして設定値の値と比較し、その結果に基づいてプロセス装置にフィードバックをかけることによって、装置のダウンタイムの削減、不良ウェハの発生を大きく低減できる。

【0073】本実施例では、 $a_1=20\text{nm}$ 、 $a_2=100\text{nm}$ 、 $N_1=10^9\text{個}/\text{cm}^3$ 、 $N_2=10^6\text{個}/\text{cm}^3$ としたが、使用装置やプロセス条件に応じてこれらの値は異なるので、それぞれの場合に応じてこれらの値が設定される。

【0074】また、本実施例では、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15とプロセス装置制御器16とに平行して伝えられる構成になっているが、図2に示すように、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15に伝えられ、信号表示器15からプロセス制御器16に信号が伝えられる構成も考えられる。この場合はプロセス技術者が信号表示器15をみてプロセス制御器16を作動させることになる。

【0075】また、本実施例では、レーザ光は空間的に走査していないが、レーザ光源11の構成要素の一つであるレーザ光を空間的に走査する機器を作動させれば、散乱光強度の2次元、3次元的な分布を信号表示器15で測定することができ、プロセス装置12内のパーティクルの発生と分布状態を知ることができる。

【0076】〔実施例2〕本発明の他の実施例として、タングステンのプラズマエッチングプロセスの場合について説明する。図9に本実施例の構成を示す。

【0077】レーザ光源11は、YAGレーザ発振器と第2高調波発生用非線形光学結晶を含むレーザ装置25と偏光子21を含み、この偏光子21を透過した後、45°の直線偏光になった波長532nmのレーザ光22を得られる。

【0078】レーザ光22は、プロセス装置12の内部に浮遊しているパーティクル23によって散乱される。散乱光24は、一定速度で回転する回転1/4波長板20を透過後、固定されている検光子19を通り、干渉フ

12

ィルタが装着されている受光素子26に到達する。

【0079】データ処理器27では、光強度の時間変化をフーリエ変換し、上式(3)の係数を求め、さらにストークス・パラメータQ、U、Vを求める。

【0080】これらQ、U、Vから、散乱光強度と散乱光の偏光状態を規定する Ψ 、 Δ を算出する。そして、これらの数値から、パーティクルの粒径、光学定数(屈折率)、数密度などを求める。

【0081】パーティクル誘起不良を予測し不良の発生を抑制するために、エッチング装置へのフィードバックを行うか否かの判断基準となるパーティクルの直径を $a_1=20\text{nm}$ 、 $a_2=100\text{nm}$ 、またその数密度を $N_1=10^9\text{個}/\text{cm}^3$ 、 $N_2=10^6\text{個}/\text{cm}^3$ とする。

【0082】これらの数値とデータ処理器27で算出される屈折率 m から、 a_1 、 N_1 、 m で決まる線 l_1 、 a_2 、 N_2 、 m で決まる l_2 を図10に示す。

【0083】パーティクルの成長によって粒径が変化したり、成長の過程でパーティクルの中心部と表面の組成が変わると、屈折率 m が変化する場合がある。すなわち、図10において、判断基準の線 l_1 と l_2 は、 m の実測値の変化に応じて変化する。データ処理器27では、 m 、 a 、 N を算出するので、計測の各時点で l_1 、 l_2 に対して信号強度の大小を判断できる。

【0084】図10を参照して、散乱光強度が I_1 で決まる値よりも小さいときは不良の発生は生じない。

【0085】また、 I_1 よりも大きく、 I_2 よりも小さいときには不良は発生しないがパーティクルは生じていることを示す。

【0086】そして、 I_2 よりも大きい場合には、不良が発生する危険性が大きいことを示す。

【0087】本実施例における、信号の流れ、及びプロセス装置に対する制御方式を、図11を参照して以下に説明する。

【0088】受光器13からの信号はデータ処理器27に入力され、データ処理器27において、パーティクルの半径 a 、数密度 N 、屈折率 m が、時々刻々算出される。

【0089】上述した l_1 と l_2 の値を決めるのに必要な、 a_1 、 a_2 、 N_1 、 N_2 は、予め信号強度判定器14に設定しておく。屈折率 m の値に対して、 l_1 と l_2 の値が時々刻々決まり、 a 、 N 、 m から決まる散乱光強度との大小が判定される。

【0090】プロセス装置12の状態が良く、パーティクルがほとんど発生していないときには、散乱光はほとんど生じず、受光器13、データ処理器27から信号判定器14への伝わる信号強度は小さい。このときの信号強度は I_1 よりも小さいものと認識され、その旨が、信号表示器15に伝えられ、表示される。同時に、この旨はプロセス制御器16に伝えられる。そして、信号強度が I_1 よりも小さいので、プロセス装置12に対しては

何のフィードバックもかからない。

【0091】また信号強度が I_1 よりも大きく I_2 よりも小さいときには、その旨が、信号表示器15に表示されると同時に、プロセス制御器16からin-situクリーニング器17の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。

【0092】その結果、プロセス中のウェハの処理が終了すると NF_3 ガスを用いたプラズマによるin-situクリーニングが行われ、プロセス装置12は元の正常な状態に戻る。

【0093】そして信号強度が I_2 よりも大きいときには、その旨が、信号表示器15に表示されると共に、プロセス制御器16からオーバーホール用停止器18の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その際、プロセス中のウェハを外観検査装置で検査して異常がなければプロセスを継続するが、不良が発生しているときにはプロセス装置12を停止してオーバーホールを行う。

【0094】このように、散乱光強度をモニターして設定値の値と比較し、その結果に基づいてプロセス装置にフィードバックをかけることによって、装置のダウンタイムの削減、不良ウェハの発生を大きく低減できる。

【0095】本実施例では、 $a_1=20\text{nm}$ 、 $a_2=100\text{nm}$ 、 $N_1=10^9\text{個}/\text{cm}^3$ 、 $N_2=10^6\text{個}/\text{cm}^3$ としたが、使用装置やプロセス条件に応じてこれらの値は異なるので、それぞれの場合に応じてこれらの値が設定される。

【0096】また、本実施例では、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15とプロセス装置制御器16とに平行して伝えられる構成になっているが、図12に示すように、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15に伝えられ、信号表示器15からプロセス制御器16に信号が伝えられる構成も考えられる。この場合は、プロセス技術者が信号表示器15をみてプロセス制御器16を作動させることになる。

【0097】また、本実施例では、レーザ光は空間的に走査していないが、レーザ光源11の構成要素の1つであるレーザ光を空間的に走査する機器を作動させれば、散乱光強度の2次元、3次元的な分布を信号表示器15で測定することができ、プロセス装置12内のパーティクルの発生と分布状態を知ることができる。

【0098】〔実施例3〕本発明の第3の実施例として、ポリシリコン(poly-Si)のプラズマCVD(化学気相成長)の場合を例にとって説明する。Siの微粒子では、観測されるラマン散乱光の波長が微粒子の大きさによって変化することが知られている。Si微粒子の大きさが7nmのときには照射レーザ光に対して 480cm^{-1} 低エネルギー側にラマン散乱光が生じる。

【0099】微粒子の大きさが8nmになるとこの変化量は 485cm^{-1} に、10nmになると 510cm^{-1} に、14nmになると 517cm^{-1} になる。22nm

では、バルクSiと同じ 520cm^{-1} に観測される。

【0100】そこで、図13に示すように、ポリシリコン微粒子からのラマン散乱光の波長に対する強度の測定結果をもとに、強度 I_1 と I_2 を設定し、例えば 510cm^{-1} の強度が、 I_1 よりも小さいときにはパーティクルによる不良は発生しないが、 520cm^{-1} の強度が I_2 を越すと不良が発生する危険性が大きいことを示す。すなわち、ラマン散乱光が観測される波長と、その強度を測定することによって、パーティクル発生状況をモニターできることになる。

【0101】図1に示したプロセス装置12からのレーザ散乱光とラマン散乱光を、マルチチャネル分光器とフォトマルチプライヤーからなる受光器13で受ける。分光器でレーザ散乱光の波長とラマン散乱光のそれとを分離して、各波長の強度を測定する。これらの信号が信号強度判定器14に伝えられる。この判定器には上述のように、予め 510cm^{-1} と 520cm^{-1} に対して I_1 と I_2 の値が設定されている。

【0102】プロセス装置12の状態が良くパーティクルがほとんど発生していないときにはレーザ光源11からの光散乱に含まれるラマン散乱はほとんど生じず、受光器13から信号強度判定器14へ伝わるラマン散乱の信号強度は小さい。このときの 510cm^{-1} の信号強度は I_1 よりも小さいと認識され、そのことが信号表示器15に伝えられ、表示される。同時に、このことはプロセス制御器16に伝えられる。信号強度が I_1 よりも小さいので、プロセス装置12に対しては何のフィードバックもかからない。

【0103】また 510cm^{-1} の信号強度が I_1 よりも大きく 520cm^{-1} のそれが I_2 よりも小さいときには、10nm程度のパーティクルが主に発生しており、これよりも大きなものの存在は無視できると考えられる。この信号強度の判定結果が信号表示器15に表示されると共に、プロセス制御器16からin-situクリーニング器17の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その結果、プロセス中のウェハの処理が終了すると BCl_3 ガスを用いたプラズマによるin-situクリーニングが行われ、プロセス装置12は元の正常な状態に戻る。

【0104】そして 510cm^{-1} と 520cm^{-1} の両方の信号の信号強度が I_2 よりも大きくなると、発生したパーティクルによる不良発生が懸念される。そのことが信号表示器15に表示されると同時に、プロセス制御器16からオーバーホール用停止器18の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その際、プロセス中のウェハを外観検査装置で検査して異常がなければプロセスを継続するが、不良が発生しているときにはプロセス装置12を停止してオーバーホールを行う。

【0105】このように、散乱光強度をモニターして設定値の値と比較し、その結果に基づいてプロセス装置に

フィードバックをかけることによって、装置のダウタイムの削減、不良ウェハの発生を大きく低減できる。

【0106】本実施例では、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15とプロセス装置制御器16とに平行して伝えられる構成になっているが、上記第1の実施例でも説明したように、図2に示すように、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15に伝えられ、そこからプロセス制御器16に信号が伝えられる構成も考えられる。この場合はプロセス技術者が信号表示器15をみてプロセス制御器16を作動させることになる。

【0107】また本実施例においては、レーザ光は空間的に走査していないが、レーザ光源11の構成要素の1つであるレーザ光を空間的に走査する機器を作動させれば、ラマン散乱光強度の2次元、3次元的な分布を信号表示器15で測定することができ、プロセス装置12内のパーティクルの発生と大きさの分布状態、空間分布状態を知ることができる。

【0108】[実施例4] 以上の実施例では、入射レーザ光に対して横方向からレーザ光またはラマン散乱光を観測していた。入射レーザ光はパルス光であっても連続光であっても良かった。本実施例ではレーザ光として、極超短パルス光を用いる場合について、図14を参照して以下に説明する。

【0109】レーザ光源11はレーザ光は10psのレーザパルス光発振器とパルスレーザ光を空間的に走査する機器を含んでいる。これらの光がプロセス装置12に導入され、パーティクルによって反射されてくる散乱光を、レーザ光源11に隣接して設置されている受光器13で検出する。

【0110】この受光器13は、少なくとも入射レーザ光のパルス幅の時間分解機能を持っており、さらにパルス数をカウントする計数手段も備えている。レーザ光が発振された時間を基準にして受光器に到達するまでの時間を測定することによって、プロセス装置12内に存在するパーティクルの場所を特定できる。

【0111】受光器13から出力されるデータは、図15に示すようなグラフになると予測される。パーティクルの発生量は反射されてくる散乱光パルス数で測定できる。

【0112】パーティクルの大きさは、各々の散乱光パルスの強度によって求まる。この強度は、前述したように、レーザ光強度によって求まる。

【0113】照射するレーザ光のパルス幅が10psの時には、 N_2 分子の速度を500m/sとすると分子は約5 μ m動く。

【0114】ところが、パーティクルの質量がこれの10⁴倍程度あるとすると、その速度は10⁻²倍となり、移動距離は約5pmとなり、測定中のパーティクルの場所の移動はほとんど無視できる。つまり空間分解能は5pm以上である。

【0115】図15に示すように、本実施例では、2種類の設定値を設けておく。第1の設定値は、異なった場所からの散乱光パルス数として10⁹個/cm³に対応する2×10¹⁰個、パルス強度として、粒径20nmの大きさに対応する強度I₁である。

【0116】第2の設定値は、10⁶個/cm³に対応する2×10⁷個、パルス強度として、粒径100nmの大きさに対応する強度I₂である。

【0117】図14を参照して、信号強度判定器14に予め設定された2種類の設定値に対して、反射されてくる散乱光のパルス数とその強度が第1の判定レベル以下であればパーティクルによる不良発生は生じないと判断されて、プロセス装置12には何のフィードバックもかけない。

【0118】第1の判定レベル以上、第2の判定レベル以下であれば、in-situクリーニング器の作動をスタンバイさせる。プロセス中のウェハの処理が終了するとin-situクリーニングが行われ、プロセス装置は元の正常な状態に戻る。

【0119】また、第2の判定レベルを越す場合にはオーバーホール用停止器の作動をスタンバイさせる。プロセス中のウェハを外観検査装置で検査して異常がなければプロセスを継続するが、不良が発生しているときにはプロセス装置を停止してオーバーホールを実施する。

【0120】このように、散乱光強度をモニターして設定値の値と比較し、その結果に基づいてプロセス装置にフィードバックをかけることによって、装置のダウタイムの削減、不良ウェハの発生を大きく低減できる。

【0121】本実施例では、レーザ散乱光を測定する場合について説明したが、ラマン散乱光の測定であっても同様にして適用される。

【0122】また、上記実施例2で説明したように、散乱光の偏光解析によって、パーティクルの粒径、数密度、屈折率を計測する方法も適用できる。この場合には、図14の受光器13と信号強度判定器14の間にデータ処理器27を挿入すればよい。データ処理器27の機能は、上記実施例2で説明したものと同様とされる。

【0123】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、ウェハ表面よりも上の空間に存在するパーティクルまたはその前駆体をin-situでモニターし、ウェハの歩留まりを予測し、同時に、プロセス装置の状態把握をリアルタイムで可能としたパーティクルモニター装置を提供する。

【0124】また、本発明によれば、モニターデータを画像として取得し、画像処理によって得られる情報に応じて、パーティクルによるウェハの損失を未然に防止すべくプロセス装置へフィードバックするシステムを実現したものであり、パーティクル誘起不良の発生を事前に防止することを可能とし、これにより製造工程の信頼性

17

を特段に向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態を説明するための図であり、信号の流れを示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態を説明するための図であり、信号の流れを示すブロック図である。

【図3】本発明の第1の実施例の概略構成を示す図である。

【図4】散乱光強度のパーティクル直径依存性の概念図である。

【図5】散乱光強度のパーティクル数密度依存性の概念図である。

【図6】検出可能なパーティクル直径と数密度の関係概念図である。

【図7】散乱光の偏光解析方法の構成概念図である。

【図8】検出可能なタングステンパーティクル直径と数密度の関係概念図である。

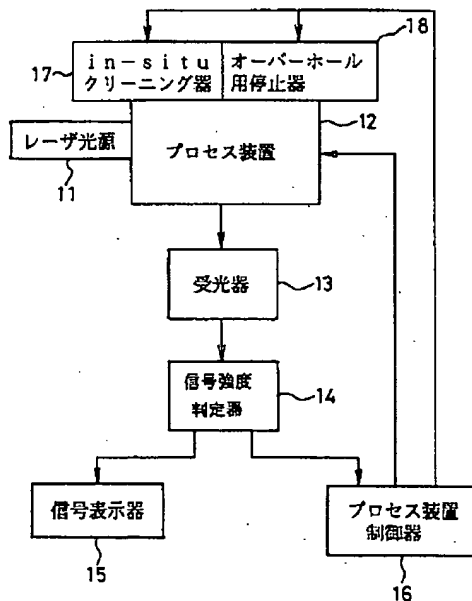
【図9】本発明の第2の実施例（散乱光の偏光解析を用いた場合）の概略構成を示す図であり、図散乱光の偏光解析を用いた場合の構成概念図である。

【図10】散乱光の偏光解析を用いた場合の検出可能なパーティクル直径と数密度の関係概念図である。

【図11】本発明の第2の実施例における信号の流れを示すブロック図である。

【図12】本発明の第2の実施例における信号の流れの他の例を示すブロック図である。

【図1】



18

【図13】本発明の第3の実施例を説明するための図であり、ポリシリコン (poly-Si) 微粒子からのラマン散乱光の波長に対する強度の概念図である。

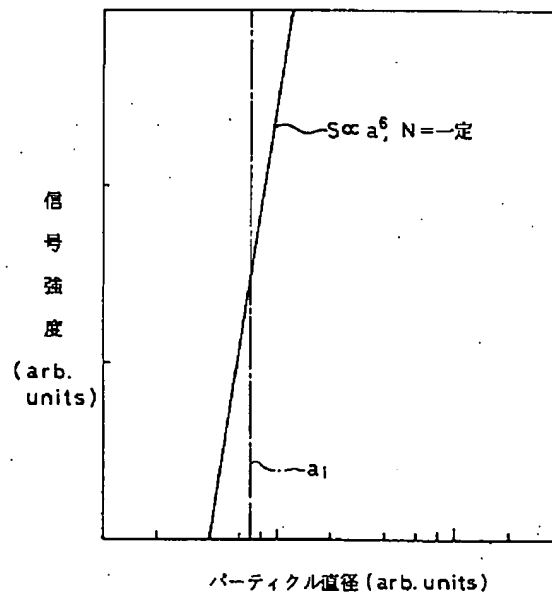
【図14】本発明の第4の実施例の概略構成を示す図である。

【図15】パルス散乱光の時間分解測定結果の概念図である。

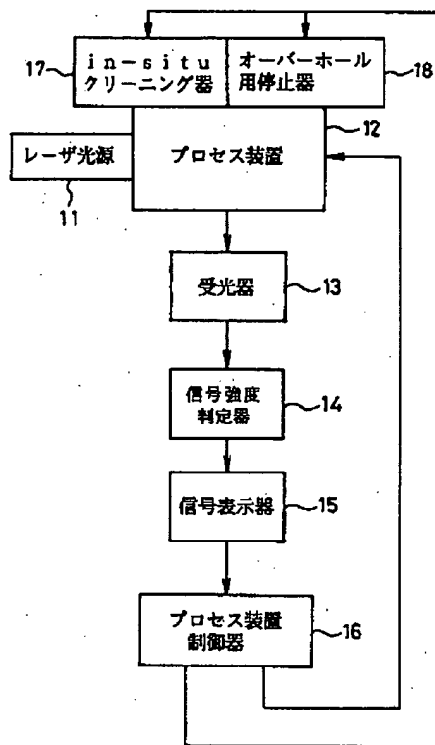
【符号の説明】

- 11 レーザ光源
- 12 プロセス装置
- 13 受光器
- 14 信号強度判定器
- 15 信号表示器
- 16 プロセス装置制御器
- 17 in-situクリーニング器
- 18 オーバーホール用停止器
- 19 検光子
- 20 回転1/4波長板
- 21 偏光子
- 22 レーザ光
- 23 パーティクル
- 24 散乱光
- 25 レーザ装置
- 26 受光素子
- 27 データ処理器

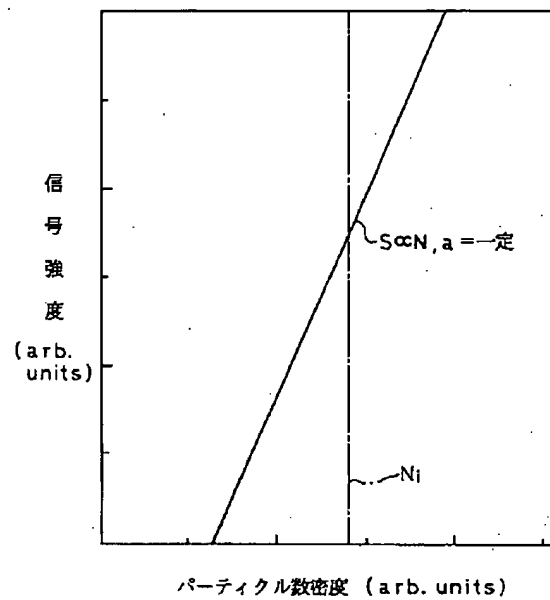
【図4】



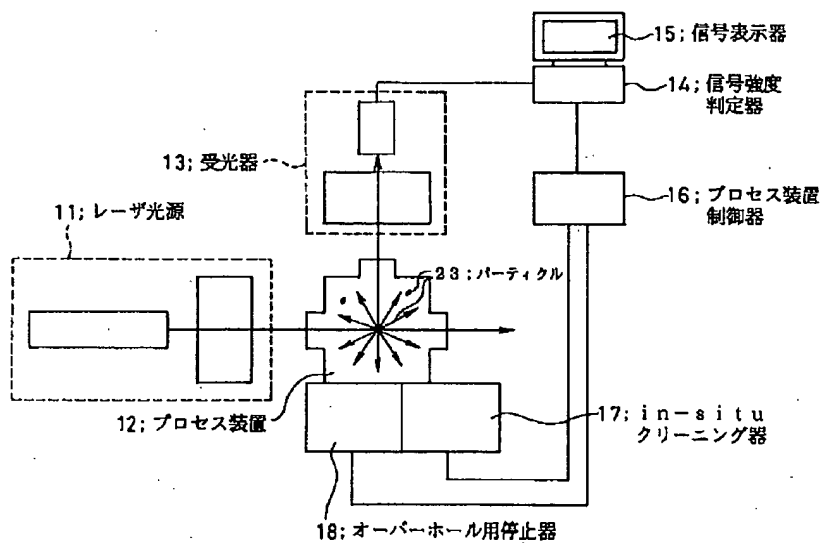
【図2】



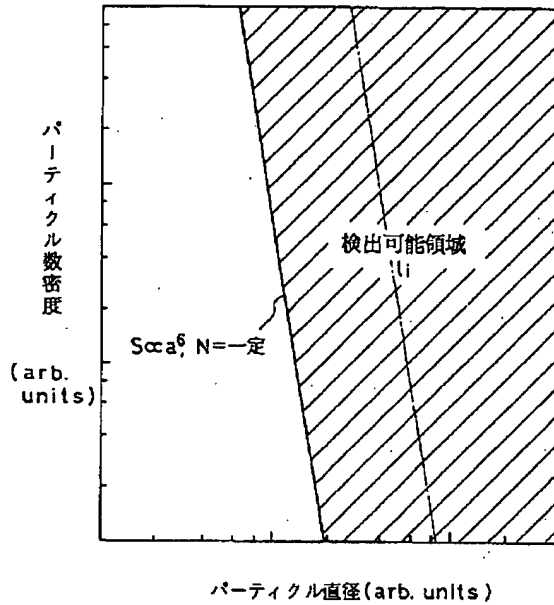
【図5】



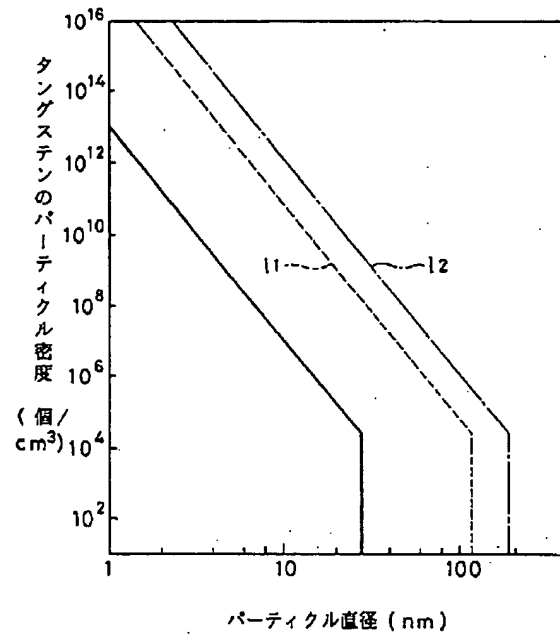
【図3】



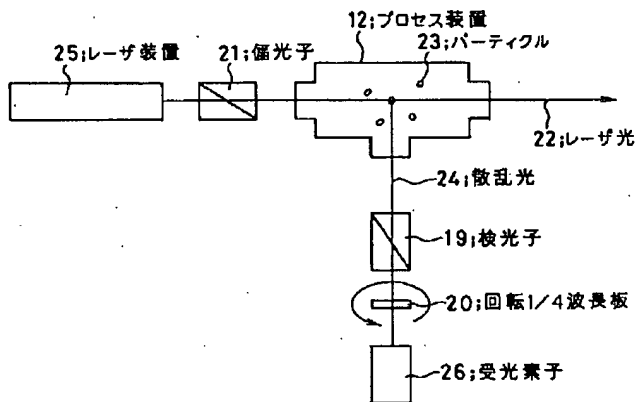
【図6】



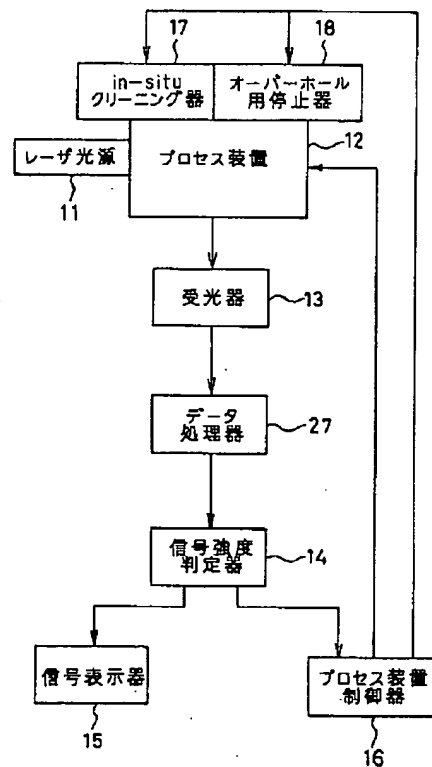
【図8】



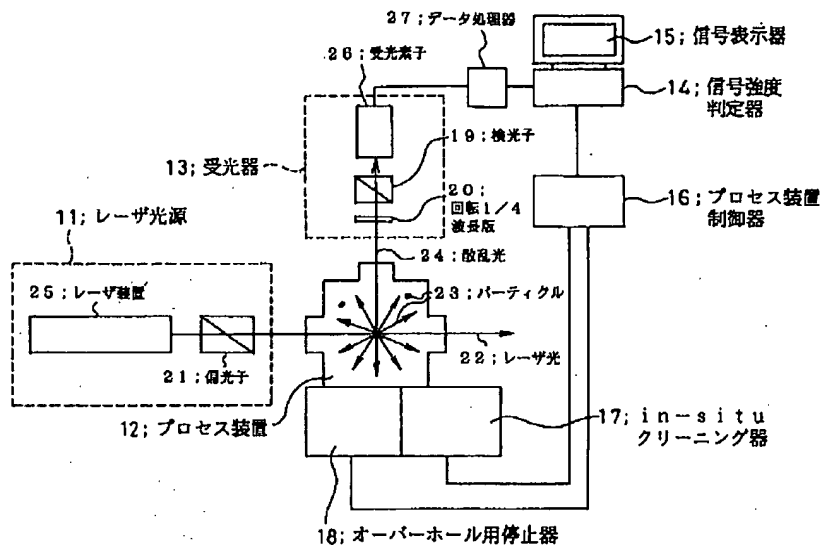
【図7】



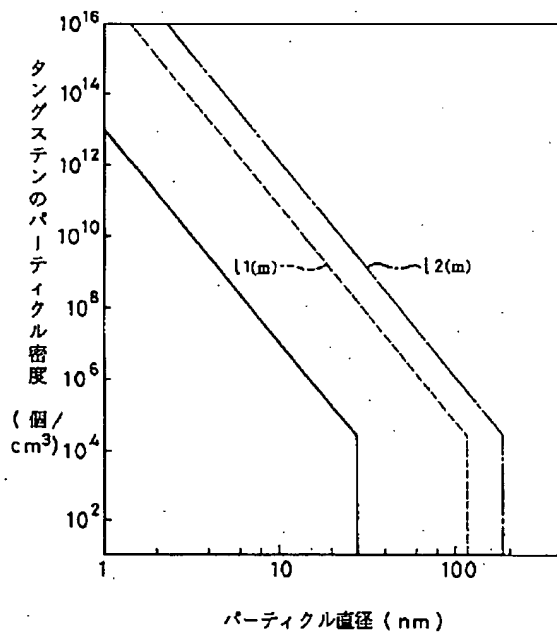
【図11】



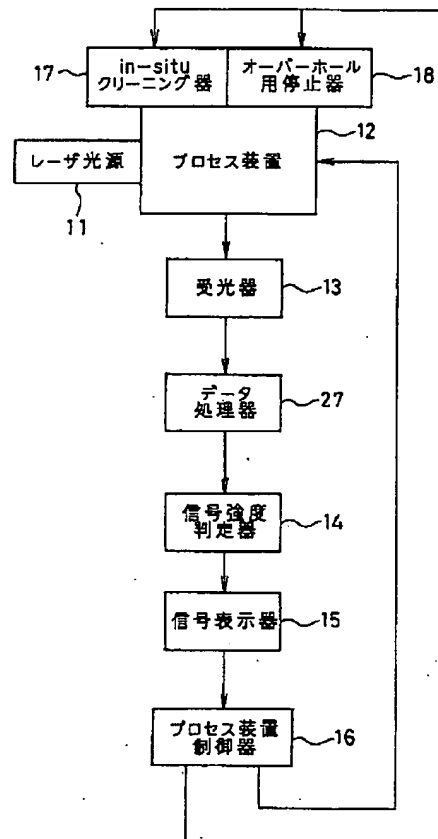
【図9】



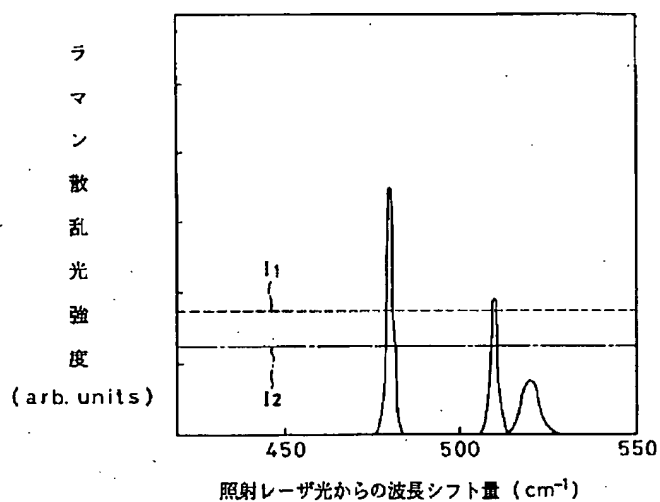
【図10】



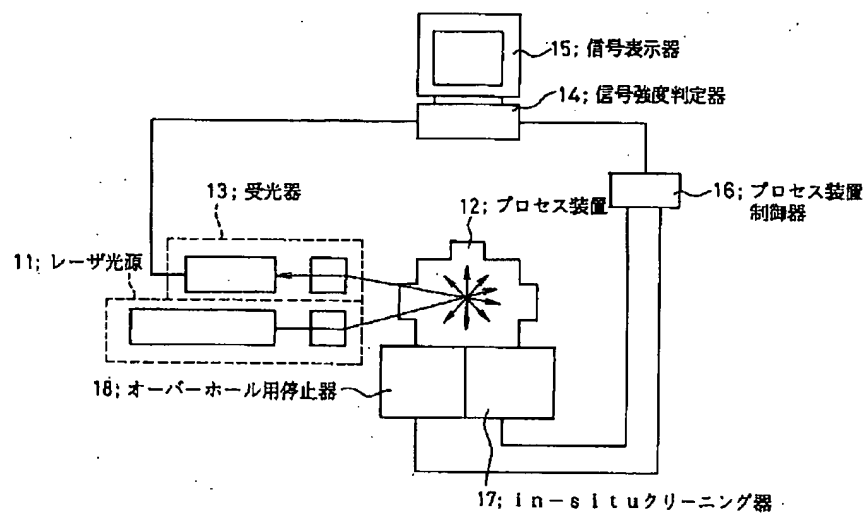
【図12】



【図13】



【図14】



【図15】

